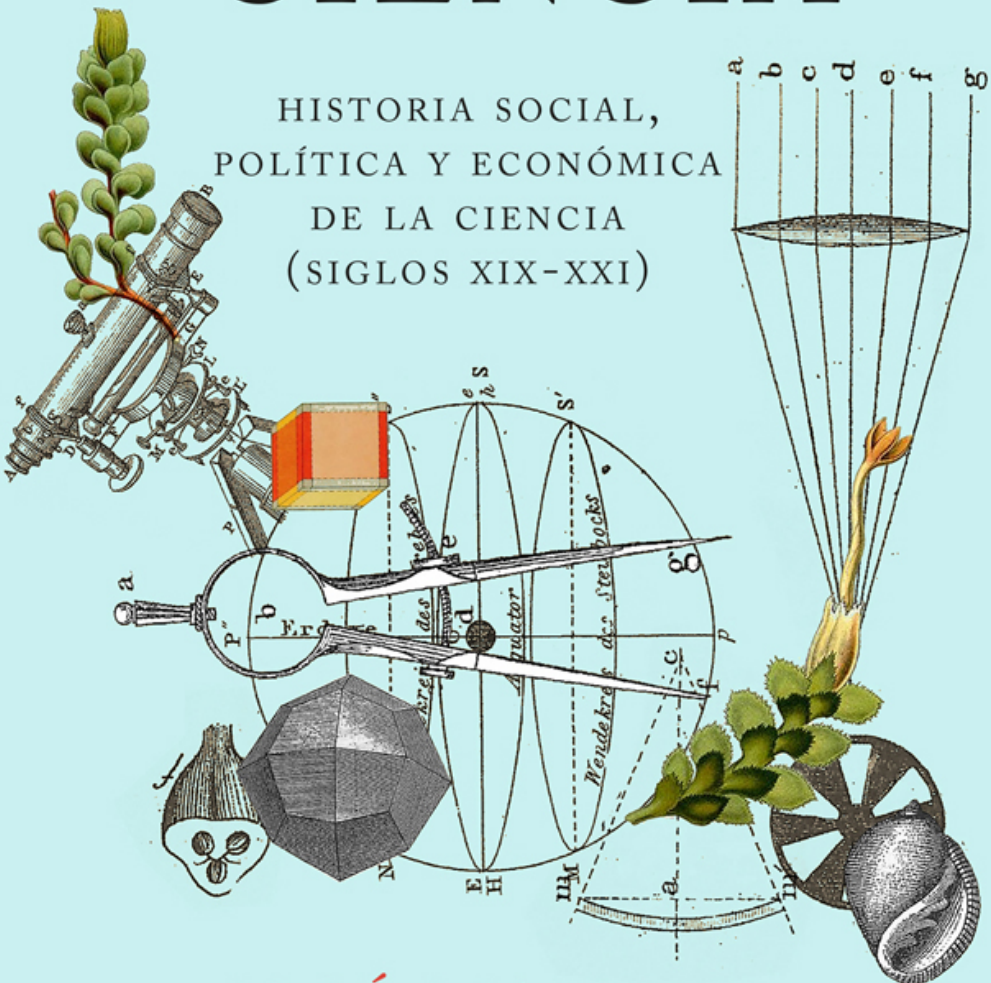
El PODER *de la* CIENCIA

HISTORIA SOCIAL, POLÍTICA Y ECONÓMICA DE LA CIENCIA (SIGLOS XIX-XXI)



JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

CRÍTICA

Índice

PORTADA
SINOPSIS
PORTADILLA
DEDICATORIA
PRÓLOGO A LA TERCERA EDICIÓN (2022)
PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN (2007)
PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN (1992)
CAPÍTULO 1. NAPOLEÓN: EL IMPERIO DE LAS CIENCIAS
CAPÍTULO 2. LA INSTITUCIONALIZACIÓN DE LAS CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE EL SIGLO XIX...
CAPÍTULO 3. EL PODER DE LAS IDEAS (I): CHARLES DARWIN
CAPÍTULO 4. LA MEDICINA COMO CIENCIA EXPERIMENTAL EN EL SIGLO XIX
CAPÍTULO 5. LAS MUJERES Y LA PROFESIÓN CIENTÍFICA
CAPÍTULO 6. DE LOS RAYOS X A LA «GRAN CIENCIA»
CAPÍTULO 7. EL PODER DE LAS IDEAS (II): ALBERT EINSTEIN
CAPÍTULO 8. LA MOVILIZACIÓN DE LA CIENCIA EN FAVOR DE LA GUERRA: LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL
CAPÍTULO 9. CONSECUENCIAS SOCIOPOLÍTICAS Y ECONÓMICAS DE LA GUERRA
CAPÍTULO 10. LA CIENCIA EN LA ALEMANIA DE HITLER Y EL EXILIO CIENTÍFICO (1933-1945)
CAPÍTULO 11. LA MILITARIZACIÓN DE LA CIENCIA: LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL Y LA GUERRA FRÍA
CAPÍTULO 12. LA ERA (DIGITAL) DE LA INFORMACIÓN
CAPÍTULO 13. LA NUEVA MEDICINA
CAPÍTULO 14. LA REVOLUCIÓN DEL ADN
CAPÍTULO 15. LA TIERRA EN EL ANTROPOCENO
EPÍLOGO
LÁMINAS

NOTAS
CRÉDITOS

Visita Planetadelibros.com y
descubre una
nueva forma de disfrutar de la
lectura

¡Regístrate y accede a contenidos

exclusivos!

Primeros capítulos
Fragmentos de próximas publicaciones

Clubs de lectura con los autores
Concursos, sorteos y promociones
Participa en presentaciones de libros

PlanetadeLibros

Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:

SINOPSIS

La historia de la ciencia es rica en épocas esplendorosas. Una de ellas corresponde a los siglos XIX, XX y XXI. Los descubrimientos y desarrollos que se realizaron entonces en la física, la química, la matemática, las ciencias naturales, la biología y la medicina conmovieron el mundo, cambiándolo radicalmente. Fue entonces, en las centurias de los Darwin, Lyell, Mendel, Faraday, Maxwell, Pasteur, Koch, Riemann, Cajal, Planck, Einstein, Gödel, Turing, Heisenberg, Watson y Crick cuando la ciencia se profesionalizó y penetró en las estructuras del poder político, económico, militar y social.

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

EL PODER DE LA CIENCIA

HISTORIA SOCIAL, POLÍTICA Y ECONÓMICA DE LA CIENCIA (SIGLOS XIX-XXI)

CRÍTICA
BARCELONA

Para Ana

PRÓLOGO A LA TERCERA EDICIÓN (2022)

Veintinueve años después de la primera edición y catorce de la segunda, he sentido de nuevo la obligación de ampliar mi texto. Lo hago por la evidencia de los numerosos, rápidos y profundos cambios que está experimentando la humanidad desde que apareció la segunda edición. De ahí que en el subtítulo se sustituya «(siglos XIX y XX)» por «(siglos XIX-XXI)». Evidentemente, se trata únicamente de las dos primeras décadas de la presente centuria, restando todavía la mayor parte de ella, pero aun así creo que se observan suficientes elementos, muy poderosos y penetrantes, como para pensar que la humanidad ha entrado ya en una nueva era. No he modificado nada de los primeros once capítulos, pero el último y el epílogo de la última edición han sido sustituidos por cuatro capítulos, en los que abordo —haciendo hincapié especial, pero no únicamente, en sus orígenes— cuestiones relacionadas con la nueva medicina, incluyendo técnicas de edición génica recientes (CRISPR), la revolución digital y sus consecuencias, la Inteligencia Artificial y la Tierra en el Antropoceno (tectónica de placas, cambio climático, agujeros en la capa de ozono, pérdida de biodiversidad). Algunos de estos temas ya estaban presentes en la edición de 2007, pero he creído necesario introducir algunos cambios y ampliarlos.

Para un autor sus libros son, en cierto sentido, hijos intelectuales, producto de algo tan íntimo como es el pensamiento propio. Y, al igual que con nuestros hijos de carne y hueso, se siente una especial satisfacción al verlos crecer, tomar una vida que no se aventuró cuando comenzaron a ser imaginados. Que mi *El poder de la ciencia* pueda presumir de semejante historia es algo que me enorgullece. Espero que continúe siendo útil a quienes se acerquen ahora a sus páginas.

Madrid, 13 de septiembre de 2021

PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN (2007)

PODER Y CIENCIA

«Albergo la esperanza», escribí en el Prólogo a la primera edición (1992) de esta obra, *El poder de la ciencia*, «de que éste sea un libro vivo, y que... dentro de unos años pueda volver a él, para ampliar sus horizontes.» Pues bien, el destino ha sido generoso conmigo permitiéndome preparar una segunda edición. (El destino y la buena disposición de mis editores, Gonzalo Pontón y Carmen Esteban, que además han soportado con resignación retraso tras retraso en mis planes iniciales.)

Pero catorce años pueden ser muchos para el tema que se estudia al igual que para el autor, que acaso ve el mundo de una forma diferente (entre otros motivos porque sabe más). Así ha sido en este caso, y me he visto obligado a efectuar muchos cambios en esta segunda edición. De hecho, se podría hablar casi de un nuevo libro. La primera edición tenía ocho capítulos, la presente doce. Aquélla llevaba por subtítulo el de «Historia socio-económica de la física (siglo XX)», ésta el de «Historia social, política y económica de la ciencia (siglos XIX y XX)». El motivo de tales cambios, de la ampliación tan sustancial que he realizado —de considerar casi exclusivamente (aparecía también, con cierta prominencia, la química) la física, a incluir también otras ciencias, sin olvidar a las biomédicas—, es fácil de comprender. Inmersos como estamos en una revolución científico-técnica que tiene en su epicentro a las ciencias biomédicas, en general, y a las biológico-moleculares, en particular, en el curso de los últimos años se ha hecho evidente, mucho más de lo que lo era antes, que no basta, en modo alguno, con la física para comprender el siglo XX, y que además éste debe mucho al XIX (que ya trataba, cierto es, en la primera edición). Y como lo que yo quiero es

comprender y explicar mejor el papel de la ciencia en el mundo contemporáneo, me he visto obligado a añadir dos nuevos capítulos, uno dedicado a la medicina decimonónica y otro a la del siglo XX, centrado especialmente en la «revolución del ADN».

No son, sin embargo, éstos los únicos cambios. Todos los capítulos han sido revisados y la mayoría ampliados sustancialmente. He añadido, aparte de los dos que acabo de mencionar, dos más: uno dedicado a Napoleón y a su relación con la ciencia, y otro al poder de las ideas evolucionistas de Charles Darwin. Asimismo, he introducido siempre que he podido secciones dedicadas a la ciencia en España. Aparte del motivo obvio —ayudar a comprender mejor la relación de España, mi país, con la ciencia—, está el de que tratar el caso de una nación que no se ha distinguido especialmente por sus contribuciones a la ciencia de los dos últimos siglos, puede ayudar a comprender mejor la dinámica de la relación ciencia-sociedad que si sólo me limitase a los casos de Alemania, Estados Unidos, Francia y Gran Bretaña, que dominan mi tratamiento.

Finalmente, una última consideración. Si hoy escribiese este libro no lo habría titulado *El poder de la ciencia*, sino *Poder y ciencia*. Continúo pensando que la ciencia tiene, efectivamente, poder, que se puede hablar de «el poder de la ciencia», pero ya no soy tan ingenuo y comprendo que ese poder dista de ser todopoderoso. No lo es en absoluto: la ciencia se relaciona intensamente con el poder, político, económico, militar, estando con frecuencia —sino siempre — sometida a él. Y de hecho, en este libro aparecen numerosas evidencias de ello, comenzando por el primer capítulo, el dedicado a Napoleón y la ciencia francesa, pero también en otros, en los que estudio cuestiones como son la ciencia alemana bajo Hitler, la ciencia estadounidense y la Guerra Fría, o el papel de Stalin y Eisenhower en la ciencia de la Unión Soviética y Estados Unidos, respectivamente. Por no hablar, claro, del poder atómico.

Mirando hacia atrás, me doy cuenta de que debería

haber sido más perspicaz. Al fin y al cabo no era tan difícil darse cuenta de esto (ya estaba, de hecho, en la primera edición). No hace falta ser un teórico del poder para apreciar sus múltiples dimensiones. Leyendo, hace muy poco, los recuerdos del humilde socialista Manuel Cortés, alcalde de Mijas (Málaga) durante los años de la Segunda República española, y que por ello —¡vaya delito!— tuvo que pasar treinta años escondido en su casa después de la victoria del ejército rebelde dirigido por el general Franco, encontré una muestra más de lo fácil que es advertir la importancia y multidimensionalidad de las distintas facetas del poder:[1] «Hasta que desaparezca la clase proletaria tendrá que haber lucha de clases; mientras el poder económico siga en manos de la burguesía, el poder político lo tiene también. El poder político sin el poder económico no es nada. Sin el control económico de lo fundamental de la economía —la gran industria, la banca, los transportes y la tierra— no hay poder político. Eso se vio en la República. El poder económico quedó donde estaba, en la burguesía, y nosotros no teníamos el poder político, y ¿para qué?, ¡para nada!». No hablaba de ciencia y poder, es verdad, pero la extrapolación es casi inmediata.

En una reseña que publicó poco después de la publicación de mi libro, y que básicamente reproducía las palabras que pronunció en la presentación que de él se hizo en la Residencia de Estudiantes, Gabriel Tortella ya me advertía del error de hablar sin más de «el poder de la ciencia», cuando se preguntaba:[2] «¿Quién tiene el poder en cuestiones científicas? La respuesta es clara: no los científicos (recordemos el caso de Alemania, tanto en el siglo XIX como en el XX: la intervención estatal fue decisiva para bien o para mal; recordemos además las palabras de Heisenberg: como el Estado no se fiaba de los científicos, éstos no podían avanzar); no la economía, que apoya más o menos a la ciencia, pero no la dirige (nos dice Sánchez Ron: "La competitividad comercial estadounidense apenas se ha beneficiado del I+D militar"); a partir de la Revolución Industrial, es decir, durante los dos últimos siglos, es el

Estado, el poder político, el agente que en mayor medida determina la evolución de la ciencia... En definitiva... no es la ciencia la que tiene el poder: es el Poder el que tiene a la Ciencia».

Aunque creo que la ecuación «es el Poder el que tiene a la Ciencia» es excesivamente general, y no se cumple siempre, aunque sea por dejadez del poder político, Gabriel acertó con sus comentarios críticos. Otro buen amigo, Miguel Artola, al que confié mis dudas sobre lo adecuado del título original de este libro cuando hace unos cinco años comencé a pensar en una nueva edición, vino a decir más o menos lo mismo que Gabriel Tortella. Las conversaciones que a lo largo de los últimos años he tenido el privilegio de mantener con el maestro de historiadores que es don Miguel, me han ayudado a entender mejor la noción de «poder». Y quiero agradecérselo aquí. Tampoco es que esté completamente de acuerdo con él, pero me ha ayudado mucho. No comparto totalmente, por ejemplo, algo que Artola me ha repetido varias veces y que dejó escrito en su magnífica «Introducción» —de hecho, un pequeño tratado de lo que es el «poder»— a uno de sus libros, *La burguesía revolucionaria (1808-1874)*:[3] «Quien tiene el poder tiene todo el poder, disfruta de un poder absoluto y el ejercicio de los derechos humanos dependerá de su buena voluntad». ¿Quién tiene hoy, en las naciones que cuentan en la generación de conocimiento científico, ese «poder absoluto»? Ha existido, y seguramente puede volver a existir, pero el poder político, el más cercano al absoluto, o, para decirlo de otra forma, el que en el pasado ha ejercido poder absoluto (los casos, de los que me ocupo aquí, de Napoleón, Hitler y Stalin), comparte protagonismo en la orientación y control de la ciencia (y en muchas otras cosas más) con el poder económico. Aunque acaso no sea en el mismo sentido, Miguel Artola incluía esta posibilidad, que condiciona el rango de validez de su primera afirmación, al añadir inmediatamente: «La *división de poderes* es la garantía más eficaz que se ha encontrado para garantizar los derechos, y los revolucionarios franceses vieron en ella

la condición necesaria para la existencia de una Constitución». No es a la misma «división de poderes» a la que yo me refiero, pero se trata de una división de poderes, al fin y al cabo.

Otra cosa es que la coexistencia de poderes como el político y el económico (o el militar, que no necesariamente se somete siempre, como debería, al político) sea conveniente. Prefiero, por supuesto, mil veces la división de poderes (político o ejecutivo, legislativo y judicial) a la que se refiere Artola que ésa que tan profundamente interviene en nuestro mundo, incluyendo el científico. De hecho, es importante analizar hoy con cuidado la relación entre poder y ciencia. Si ésta, la ciencia, es uno de los elementos más importantes en la configuración y desarrollo —incluyendo el bienestar— social, tenemos la obligación de vigilar quiénes y cómo intervienen en su desarrollo y en la explotación de las posibilidades —¡y beneficios!— que emanan de ella. En una época marcada por una profunda revolución tecnocientífica en el ámbito de la biomedicina, cuando se abren todo tipo de posibilidades relativas a la salud, a la intervención en la procreación, a la manipulación de genomas, a, en definitiva, el control y manipulación de la vida, de todo tipo de vida, es crucial saber quién tiene el poder en la ciencia, quién la controla. En este sentido, probablemente nunca fueron más relevantes aquellas viejas —aunque no por ello caducas— máximas que los revolucionarios franceses defendieron: «El poder se origina en el pueblo, que lo establece. Lo establece para su bien, no en su detrimento. Ese bien se concreta principalmente en el disfrute seguro de los derechos».

Si mi libro ayuda, aunque sea sólo un poco, en estos sentidos, habrá valido la pena.

Madrid, 1 de enero de 2007

PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN (1992)

Entre los diversos y múltiples «poderes» que nos abruman hay uno que tiene, al menos, la ventaja de estar basado en la racionalidad: la ciencia. Este producto de la mente humana, que conduce a teorías que incluso predicen fenómenos no observados antes, revelando así un sorprendente paralelismo entre la estructura y funcionamiento de nuestro cerebro y la naturaleza orgánica e inorgánica, figura entre las más nobles características de la especie humana. Es cierto que la ciencia no agota el universo intelectual, pero como empresa evolutiva, como búsqueda que va, constantemente, desvelando nuevas explicaciones, conexiones y posibilidades, no creo que tenga parangón con ninguna otra actividad humana. Por si fuera poco, acaso consecuencia intrínseca de su propia naturaleza y objetivos, la ciencia, además de comprensión intelectual, da poder. *El poder de la ciencia*.

En este libro he pretendido explicar los principales mecanismos que subyacen en el desarrollo de la ciencia —especialmente de la física— durante el siglo XX. Explicar, en definitiva, cómo es que la ciencia de Galileo, Newton, Faraday, Maxwell o Einstein se ha convertido en un poder que conforma una gran parte de nuestras vidas. El subtítulo que he incorporado señala que pretende ser una «historia socioeconómica de la física del siglo XX». Ante semejante caracterización es preciso efectuar algunos comentarios. En primer lugar, ¿cómo se armonizan «poder *de la ciencia*» e «historia socioeconómica *de la física*»? Evidentemente, la física únicamente es una parte de la ciencia, pero si queremos hablar de poder y de historia socioeconómica de la ciencia *durante el siglo XX,* pocos negarán que, de una u otra forma, la física se encuentra detrás de ese poder y de esa socioeconomía. No he olvidado, sin embargo, la química, sin la cual sería imposible comprender el proceso

de institucionalización de la ciencia durante el siglo XIX y primeras décadas del XX. El que su relevancia disminuyese a partir del período de entreguerras se debe no tanto a ella, al interés de sus contenidos y aplicaciones, como al fulgurante y radicalmente nuevo desarrollo experimentado por la física a lo largo de todo el siglo XX.

En segundo lugar me tengo que referir a lo que quiero decir con «socioeconómica». Me resulta difícil, y no pretendo defender con demasiada insistencia la exactitud del término (entre las lecciones más permanentes que me han quedado de mis lecturas de Karl Popper figura la de no emplear demasiado tiempo argumentando sobre terminologías). Una historia socioeconómica de la ciencia, en el sentido, al menos, que yo le doy aquí, no es una historia de la ciencia al estilo tradicional, en la que pacientemente se van desgranando los principales hitos en el desarrollo de la ciencia —cuantos más, si bien enlazados y justificados, mejor—, añadiendo, aquí y allá, algunos comentarios que resaltan las dimensiones sociales y económicas de algunas de las teorías, conceptos o experimentos tratados. Una historia socioeconómica es diferente; los detalles internos de la ciencia, o ciencias objeto de estudio —por muy importantes que sean—, pasan, en cierta medida, a un segundo plano y, de hecho, muchos desaparecen al no ser necesarios para lo que se pretende, que no es ni más ni menos que ocuparse de los aspectos más institucionales de la ciencia. De los centros donde se hizo esa ciencia; de la profesión científica; de la reacción o relación de los científicos ante acontecimientos con algún grado de singularidad dentro de la historia «general»; de la imbricación de la ciencia y los científicos en la vida diaria. Por supuesto, «vida diaria» es un término ambiguo, y no faltará quien argumentará que todo, absolutamente *todo*, forma parte de la vida diaria, que es precisamente el conjunto de todo lo que ocurre. No es, insisto, mi intención perderme en esa maraña que es el significado exacto de las palabras y así no tengo inconveniente en reconocer que, efectivamente, cuando se

pretende seleccionar en función de pretendidas «razones sociales y/o económicas» (que yo abrevio diciendo socioeconómicas), uno está pisando un terreno resbaladizo. En este sentido, la justificación de esta historia es ella misma. Una de mis pretensiones en las páginas que siguen ha sido intentar ayudar a que se entienda mejor cómo ha surgido la sociedad en que vivimos actualmente, una sociedad en la que la ciencia, repito, desempeña un papel fundamental.

Hay otro aspecto de esta obra que conviene comentar. Acabo de señalar que este libro no es una historia de la ciencia tal y como se entiende habitualmente. Obviamente, la dimensión socioeconómica de una ciencia se intensifica cuanto más técnica es ésta, y en las ciencias físico-químicas es difícil a veces determinar la frontera que separa lo que es «ciencia» de lo que es «tecnología»; de hecho, en ocasiones no existe tal frontera. Éste es, por tanto, otro terreno resbaladizo en el que necesariamente me tendré que mover, porque no ha sido mi intención escribir una historia socioeconómica de la tecnología.

He pretendido ser ambicioso en mi tratamiento, acercando, además, la historia de la ciencia a la historia «general», y creo que por el momento no existen muchas obras que se adentren en tantos apartados de la historia de la ciencia del siglo XX (y del XIX, en lo que al primer [en la segunda edición, segundo] capítulo se refiere) como se hace en ésta. Ahora bien, sería pretencioso por mi parte negar que en mi tarea me he apoyado si no en «hombros de gigantes», sí en las contribuciones de buenos profesionales de la historia de la ciencia y la tecnología, que durante varias décadas han dado lustre y vigor a una disciplina hasta hace poco anclada en cierto escolasticismo, por mucho que pudiese contener eminentes aportaciones a la historia *interna* de la ciencia. Al hilo de la descripción (en la que en alguna ocasión no falta el detalle internalista), he buscado relacionar, encontrar la novedad, la dificultad, el argumento sociológico o económico, la tensión entre «ciencia y científicos» y «sociedad». Sé muy bien que en

semejantes descripciones y búsquedas he ido dejando —voluntaria o involuntariamente— hechos o argumentos que muchos considerarán imprescindibles en una obra como ésta. Ya el que me haya limitado, con escasas excepciones, a Alemania, Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos constituye una deficiencia, no importa que esas cuatro naciones hayan acaparado la mayor parte de las líneas directrices que rigen una historia social y económica de la ciencia del siglo XX. Me gustaría que por encima de las críticas que por el motivo anterior pueda hacer el lector, éste comprendiera que todo, desde los conocimientos de un autor (y de toda una generación de historiadores, no todopoderosos), hasta el espacio material, pasando por el tiempo disponible, tiene sus limitaciones. Albergo, sin embargo, la esperanza de que éste sea un libro vivo, y que, si la acogida que se le da lo permite, dentro de unos años pueda volver a él, para ampliar sus horizontes. Por el momento júzguesele por lo que pretende y por lo que es.

En un libro, el momento de reconocer débitos es doblemente agradable. Por un lado, suele significar —éste es al menos mi caso— que se ha terminado de escribirlo, y por mucho que se pueda sentir abandonar una tarea creativa con tantas recompensas intelectuales, sería difícil negar que se agradece liberarse de una no pequeña carga, más aún cuando ya se ha comprobado que se es capaz de soportarla. Más agradable es todavía intentar recomponer ese rompecabezas íntimo formado por las personas que, de una manera u otra, han ayudado al autor en su tarea. Para alguien como yo, formado en la física, que no ha tenido la oportunidad de contar de manera directa con maestros en el arte de la historia, este momento rompe también una soledad que, aunque conocida por todos, acaso sea más intensa en casos como el mío.

Este libro es, en realidad, un viejo proyecto. En dos ocasiones desarrollé un curso de «Historia socioeconómica de la ciencia (siglos XIX y XX)», dentro del Programa de Historia Contemporánea del Instituto Universitario José Ortega y Gasset. A la Fundación Ortega, y en particular a

Magda Mora, que con tanto cariño acogió mi propuesta, así como a mis —escasos— alumnos les debo la oportunidad de darme cuenta de cuánto ignoraba y el pensamiento de que algún día sabría más y podría escribir un libro. Ese día podría haber tardado todavía bastante si Raúl Rispa y César Alonso de los Ríos no hubiesen preparado el escenario adecuado para que me animase a hacerles la propuesta de esta obra, propuesta que aceptaron más fácilmente de lo que acaso merezco y que se encargaron de canalizar a la Sociedad Estatal Expo-92. Como también la aceptó Rafael Martínez Alés, director de Alianza Editorial, cuya comprensión conmigo no es de ahora. Y hablando de Alianza, difícilmente podría olvidar a Ricardo Artola, mi joven pero ya viejo amigo, compañero de más de una aventura editorial; en pocas manos podría estar mejor este manuscrito.

He dicho, y es verdad, que no puedo enorgullecerme de tener maestros, pero sí tengo colegas de los que algo he aprendido. Para los temas de este libro, no puedo evitar mencionar a Paul Forman y a Lewis Pyenson, a quienes agradezco sus muchas atenciones y enseñanzas, especialmente en el caso del primero, auténtico adelantado de los estudios con el enfoque que yo he pretendido seguir aquí. Quiero recordar, asimismo, a un querido compañero, Javier Ordóñez, que a lo largo de estos últimos años me ha ayudado a creer —acaso una vana ilusión— que dedicarse a la historia de la ciencia merece la pena tanto intelectual como humanamente, y que durante los meses de escritura de este libro fue particularmente generoso con sus ánimos, basados no lo dudo, más en la amistad que en la equidad. No puedo olvidar tampoco a un entrañable amigo —esta vez no colega— que aunque tal vez no se haya dado cuenta, me ha ayudado a pensar y a escribir mejor, con más rigor y precisión: Javier Pradera. Uno de los capítulos de este libro, el último [en la segunda edición, el 11], que contiene en parte material publicado previamente en una revista que él dirige, debe mucho a sus comentarios.

Desde hace más de dos años me encuentro en comisión

de servicio en el Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, gracias a una idea —a la postre no peregrina— que se le ocurrió a mi hoy amigo (aunque sólo fuese por esto mereció la pena ir al Consejo) Enrique Trillas, cuando era presidente de esa institución. Aun echando algo de menos mi Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid, al que pronto regresaré, he disfrutado plenamente en este agradable Instituto. Sin las facilidades que han puesto a mi alcance, no la menor, y tampoco la única, eso tan elusivo que es el tiempo, no habría podido escribir este libro por el momento. Más que a la filosofía, doncella (¿o cortesana?) a la que por supuesto respeto y en ocasiones incluso cultivo, echaré de menos a mis compañeros, los filósofos de la calle Pinar que con desmedida generosidad pusieron a mi disposición todo lo que tenían. Sólo espero que ellos piensen que han recibido algo de mí. Y hablando del CSIC no puedo —ni quiero— olvidar a mis compañeros de la Residencia de Estudiantes, con quienes desde hace años comparto programas de investigación de historia intelectual. En José Luis García-Velasco, el incansable y sensible director de lo que queda de aquella Colina de los Chopos en este Madrid de mil demonios, a la que él pugna, con acierto, por dar una vida tan actual como la que tuvo en su día la de su predecesor, Alberto Jiménez Fraud, he encontrado siempre no sólo compañía en mis proyectos, que son también en parte los suyos, sino, lo que para mí es más importante, amistad y cariño.

Llego ya al final, a lo más entrañable, a mi familia. Soy un autor más de esa legión de los que tienen que agradecer lo mucho que han recibido de aquellos con quienes vive, en mi caso mi mujer e hijas, Ana, Mireya y Amaya. Sé muy bien que es tarea fútil buscar el tiempo perdido, y que yo les he robado —y me he robado— mucho tiempo, horas, días, semanas, meses, que ya nunca volverán. Tal vez encontrarán alguna compensación al tener en sus manos esta obra. Acaso algún día —cuando haya transcurrido mucho tiempo (el tiempo, siempre el tiempo)— a mis hijas

les agrade recordar a su padre leyendo algo que él escribió, y que lo hizo, además, en parte para ellas, pensando que podría ayudarles a entender mejor el complicado, y no siempre agradable, aunque intelectualmente fascinante, mundo que les ha tocado vivir. Si es así, no podría imaginar hoy mejor recompensa. En cuanto a mi mujer, este libro es tan suyo como mío. No porque sea la única persona que lo ha leído y criticado antes de ser publicado, sino porque a su lado, en Oxford, Londres, Filadelfia y Madrid, fui —fuimos — descubriendo el mundo histórico que ahora presento a través de estas páginas. No lo hago porque sea justo, pero ciertamente justo también es el que ahora le dedique este libro.

Madrid, 12 de marzo de 1992

Capítulo 1

NAPOLEÓN: EL IMPERIO DE LAS CIENCIAS

Napoleón Bonaparte (1769-1821) es uno de los grandes nombres de la historia. Su sola mención evoca, aun en aquellos que desconocen qué es lo que realmente hizo, imágenes de grandeza. Y si eso es así en la historia a secas, en la historia «universal», ¿qué será en la de Francia? Fue el más famoso de los generales y gobernantes de Francia, y dio a ésta días inolvidables, años de poder más allá de sus fronteras. Es cierto que aquellos tiempos pasaron, pero el hijo de Charles Bonaparte y Laetitia Ramolini también dejó a su patria otros bienes más permanentes, que dan todavía más relieve y actualidad a su memoria, como, por ejemplo, una Constitución administrativa, a la que Eduardo García de Enterría se ha referido en los siguientes términos:[1] «Napoleón acertó a dar a Francia un sistema administrativo que lleva camino de hacerse definitivo. La observación de que al lado de una Constitución política Francia tiene una Constitución administrativa, que ha permanecido inalterada desde Napoleón, haciendo así superficiales los constantes cambios de aquélla, es una observación certera que revela una de las claves de la vida francesa».[2]

Ningún libro de historia universal debe, por consiguiente, dejar de hablar de él. Tampoco, en consecuencia, ninguno que trate del poder, no en vano el militar y político francés accedió y manejó como pocos los recursos del poder. En sus maravillosas memorias, François René de Chateaubriand escribió a propósito de su admirado corso unas palabras que reflejan perfectamente la intensa relación que Napoleón mantuvo con el poder:[3] «Pero este gigante no vinculaba en absoluto su destino al de sus contemporáneos; su genio pertenecía a la edad moderna: su

ambición era propia de los tiempos antiguos... Unas veces se precipitaba hacia el porvenir, otras retrocedía hacia el pasado; y ya remontase o siguiese el curso del tiempo, por su fuerza prodigiosa, arrastraba o rechazaba a las multitudes. Los hombres no fueron a sus ojos sino un medio de poder; ninguna afinidad se estableció entre su felicidad y la suya; había prometido liberarlos, y los encadenó; se apartó de ellos y ellos se alejaron de él».

Las anteriores palabras, es cierto, hablan de personas —de personas que se ven sometidas al poder de un hombre —, no de ciencia, y el presente libro trata del poder, pero con relación a la ciencia de los siglos XIX y XX. Pues bien, tampoco en una obra de este tipo debe faltar Napoleón, uno de los políticos de todos los tiempos que más intensamente se relacionó con la ciencia. Por eso, y porque aunque comenzó su andadura política en el siglo XVIII también se adentró en el XIX, es necesario comenzar hablando de él. De él y del Imperio de las Ciencias que intentó construir.

NAPOLEÓN, LA CIENCIA Y LOS CIENTÍFICOS

Aunque la grandeza de Napoleón surgió y se nutrió de la política, es difícil encontrar un personaje que se haya hecho un hueco en la historia de la humanidad, en la historia política, no en la científica, con una relación tan intensa con la ciencia como él. Su biografía muestra el gran interés que tenía por la ciencia y abunda en relaciones con científicos ilustres. Él mismo, de hecho, tuvo cierto protagonismo en el mundo de la ciencia. El 25 de diciembre de 1797 (5 de nevoso del año VI según el calendario establecido por la Revolución), en efecto, fue elegido miembro de la Sección de Mecánica de la Primera Clase («Ciencias físicas y Matemáticas») del Instituto Nacional de Ciencias y Artes —esto es, el Instituto de Francia— creado en 1795 para sustituir a la Academia Francesa y otras Academias reales, la de Ciencias entre ellas, abolidas dos años antes (el 8 de agosto de 1793) por la Convención revolucionaria como viejos testigos de la monarquía contra

la que se habían alzado.[4] Es preciso, sin embargo, añadir inmediatamente que su elección al Instituto no fue por méritos científicos. Como ha señalado Ken Alder, buen conocedor de la historia política y científica de la época: «Napoleón era un académico muy especial por varias razones. Por una parte, no había publicado jamás un trabajo científico. La principal razón para que se le pudiese considerar merecedor de la fama científica era el hecho de haber sido alumno investigador de Laplace en una academia de artillería. No tenía ninguna pretensión de pasar por un investigador o inventor original. Laplace había propuesto su candidatura (marginando entre otros al maravilloso Lenoir) más bien con la esperanza de aliar a la Academia con la estrella política en ascenso de Francia».[5] Nada, como vemos, nuevo en el mundo. De hecho, se trata de una manifestación más de la relación entre la ciencia y el poder, o mejor una manifestación del «poder del poder».

El día de diciembre en que fue recibido en el Instituto, Napoleón, todavía sólo general del ejército de Italia, pronunció unas palabras que se deben entender en clave de política científica:[6] «El verdadero poder de la República francesa debe consistir en no permitir que exista una sola nueva idea que no le pertenezca».

Ningún hecho muestra mejor lo orgulloso que Bonaparte se sintió de su pertenencia a esa selecta e histórica institución, en la que, parece, se sentaba al lado de Pierre Simon de Laplace (1749-1827) y del matemático Sylvestre François Lacroix (1765-1843) —con los cuales, por cierto, firmó informes y comunicaciones—,[7] que el que hasta 1815 siempre pusiese en el primer lugar de su lista civil: «Tratamiento de su majestad el emperador y rey como miembro del Instituto: 1.500 francos», y que en Egipto se hiciese designar con la fórmula siguiente: «*Général-en-chef, Membre de l'Institut*» («El general en jefe, miembro del Instituto»). En plena preparación de la campaña de Egipto, atareado como sin duda debía de estar, asistió a varias sesiones del Instituto, y firmó con el matemático Gaspard Monge (1746-1818) y Laplace algunos informes.[8]

François Arago citó una, evidentemente orgullosa y más que probablemente infundada o desproporcionada, manifestación de Napoleón que conviene recordar:9 «Si no me hubiese convertido en general en jefe... me habría sumergido en el estudio de las ciencias exactas. Habría construido mi camino en la ruta de los Galileo, los Newton. Y como he triunfado constantemente en mis grandes empresas, pues también me habría distinguido mucho con mis trabajos científicos. Habría dejado el recuerdo de bellos descubrimientos. Ninguna otra gloria habría tentado mis ambiciones». Es difícil imaginar que Francisco I o Luis XIV, monarcas que se distinguieron por ejercer un mecenazgo científico de gran envergadura, hubieran dicho algo del estilo.

Se sabe que, por ejemplo, en la Escuela de Artillería se las apañó para leer la *Histoire naturelle* de Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), y que al ser reducido a la inactividad en 1795 por Robespierre y sus seguidores, aprovechó para seguir cursos de química, de botánica y de historia, bien en el curso tercero de la École Normale o en el Lycée des Arts (en mayo se había negado a aceptar un despacho en el ejército de Occidente, siendo por ello eliminado el 15 de septiembre de la lista de oficiales, aunque poco duró esta situación, ya que el 30 de septiembre, tras la proclamación de la Constitución republicana del año III, reprimía una sublevación monárquica en París, siendo ascendido a general de división el 16 de octubre). A la isla de Santa Elena, el proscrito emperador se llevó la misma obra de Buffon que acabo de mencionar, junto con otras como la *Astronomie théorique et pratique* (3 tomos, 1814) de Jean-Baptiste Delambre, el *Traité de minéralogie* (4 tomos, 1801) de René-Just Haüy, el *Système des connaissances chimiques* (5 tomos) de Antoine-François Fourcroy y el *Cours de mathématiques à l'usage de l'École centrale des Quatre-Nations* (9 tomos, 1805) de Lacroix, en cuyo tomo de álgebra se encontraron tres hojas de cálculos realizados por el propio Napoleón.10

En una obra famosa, el libro basado en el cuaderno de

apuntes del conde de Las Cases (1766-1847), antiguo chambelán de Napoleón, que permaneció muy cerca de él durante el primer año del destierro del general en la isla de Santa Elena, texto publicado bajo el título de *Mémorial de Sainte-Hélène* (*Memorial de Santa Elena*), su autor recordaba que mientras el «emperador se paseaba por el jardín y conversaba sobre diversos temas, se detuvo en el del Instituto, su composición y su espíritu. Cuando se presentó a su regreso del ejército de Italia, podía considerarse entre los de su clase, compuesta por unos cincuenta miembros, como el décimo. Lagrange, Laplace y Monge estaban a la cabeza. Era un espectáculo bastante notable, agregó, y del que se ocupaban mucho los círculos, el ver al joven general del ejército de Italia en las filas del Instituto, discutiendo en público, con sus colegas, sobre temas muy profundos y en extremo metafísicos. Se le llamó entonces el *geómetra* de las batallas, el *mecánico* de la victoria».11

Al creer, como sin duda creía, en la utilidad de los conocimientos para el progreso, y estar convencido de que el avance científico y técnico marcha a la par con el desarrollo de la sociedad, Napoleón era heredero del Siglo de las Luces. «Sólo aquellos que quieren engañar a los pueblos y gobernar en su propio interés», escribió el conde de Las Cases citando palabras de Napoleón, «pueden querer mantenerlos en la ignorancia; porque cuanto más ilustrados son, más individuos habrá convencidos de la necesidad de las leyes, de lo conveniente de defenderlas, y más asentada, dichosa y próspera será la sociedad. Y si alguna vez pudiera ocurrir que las luces fuesen perjudiciales para la multitud, esto no será sino cuando el gobierno, en pugna con los intereses del pueblo, lo acorrale en una posición forzada o reduzca la última clase a morir de miseria; porque entonces tendrá más maneras de defenderse o convertirse en criminal.»12

Logros científicos durante la época de Napoleón

Enseguida pasaré a detallar algunos aspectos concretos

de la relación de Napoleón con las ciencias, antes, sin embargo, quiero recordar que durante su gobierno Francia vivió una época ciertamente esplendorosa para la ciencia, tan esplendorosa que está justificado hablar del «Imperio de las Ciencias». Fue, en efecto, entonces cuando comenzaron a publicarse los cinco tomos del *Traité de mécanique céleste* (1799-1827) de Pierre-Simon Laplace, en el que además de desarrollar el sistema celeste newtoniano se erradicaban numerosas anomalías de las explicaciones que Newton había dado de los movimientos de los planetas. Por cierto, es una historia bien conocida que cuando Laplace presentó a Bonaparte los primeros volúmenes de esta obra, el entonces primer cónsul manifestó que los leería «en los primeros seis meses de que pudiese disponer libremente».

También se publicó en vida de Napoleón, el mismo año, 1814, que fue depuesto (2 de abril) por el Senado y que se produjo su primera abdicación (6 de abril), el preludio que le condujo a su exilio en Elba (4 de mayo), otro libro inolvidable de Laplace, su *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), que contiene este famoso y estremecedor pasaje:13

> Hemos de considerar el estado actual del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que ha de seguirle. Una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos. El espíritu ofrece, en la perfección que ha sabido dar a la astronomía, un débil esbozo de esta inteligencia. Sus descubrimientos en mecánica y geometría, junto con el de la gravitación universal, le han puesto en condiciones de abarcar en las mismas expresiones analíticas los estados pasados y futuros del sistema del mundo. Aplicando el mismo método a algunos otros objetos de su conocimiento, ha logrado reducir a leyes generales los fenómenos observados y a prever aquellos otros que deben producirse en ciertas circunstancias... La regularidad que la

> astronomía nos muestra en el movimiento de los cometas tiene lugar, sin ningún género de dudas, en todos los fenómenos. La curva descrita por una simple molécula de aire o de vapor está determinada de una forma tan exacta como las órbitas de los planetas. Entre ellas no hay más diferencia que la derivada de nuestra ignorancia.

Fue durante aquellas décadas cuando Monge introdujo y enseñó una nueva disciplina matemática, la geometría descriptiva. Cuando químicos como Claude Louis Berthollet, Jean Antoine Chaptal, Fourcroy y Nicolas Vauquelin continuaron y ampliaron la obra de Lavoisier, víctima de la Revolución, en dominios como el estudio de las reacciones químicas, la química industrial y la médica. La época en que Joseph Jérôme Lalande, enemigo furibundo de Bonaparte, estudió el movimiento de los astros, y Arago partió junto a Jean-Baptiste Biot hacia las islas Baleares para continuar el gran proyecto de la Revolución de medir un arco del meridiano terrestre, con el fin de producir una medida exacta del metro, tarea que habían iniciado Jean-Baptiste Joseph Delambre y Pierre François-André Méchain,[14] aunque hay que recordar que Napoleón se negó en redondo a aprender el sistema métrico, a pesar de que inmediatamente desde el golpe de Estado que le llevó al poder absoluto encargó a Laplace, al que había nombrado ministro del Interior, que impusiese el sistema métrico en toda la nación.[15] Las décadas en que Geoffroy Saint-Hilaire exploró el desarrollo embrionario y mantuvo una intensa polémica con Georges Cuvier, Joseph Louis Lagrange continuó sus extraordinarios trabajos en matemáticas y física matemática, Étienne-Louis Malus descubrió la polarización de la luz, que anunció en 1808, el abad Haüy, salvado por los pelos del Terror, clasificó tranquilamente minerales y fundó la cristalografía, Jean-Baptiste Joseph, barón de Fourier, descubrió las leyes que rigen la propagación del calor, y Buffon prosiguió su gigantesca obra descriptiva. Y también fue cuando comenzaron sus carreras científicos del calibre de Joseph-Louis Gay-Lussac, André Marie Ampère, el «Newton de la electricidad», o de

un príncipe de las matemáticas como fue Augustin Louis Cauchy.

La era napoleónica también se solapó con la de Jean-Baptiste Lamarck, cuya fama científica se inició sobre todo en 1778, cuando publicó *La flore française*, una descripción exhaustiva de las especies vegetales conocidas en Francia, por la que fue admitido el año siguiente en la Académie des Sciences. Después vinieron muchas otras obras, como los once volúmenes de su *Annuaire météorologique* (1799-1810), su *Système des animaux sans vertèbres* (1801), o su célebre *Philosophie zoologique, ou exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux* (1809), en la que desarrollaba las ideas sobre la evolución biológica que había presentado en la lección inaugural (21 floral, año IX) del curso de zoología que desarrolló en el Museo de Historia Natural. Lamarck, por cierto, no fue admirado en absoluto por Napoleón. De hecho, cuando el ya viejo naturalista —tenía entonces sesenta y cinco años— fue a ofrecer al emperador su nuevo libro, la *Philosophie zoologique*, aquél la recibió con las siguientes palabras:[16] «¿Qué es esto? Es vuestra absurda meteorología..., ese anuario que deshonra vuestros viejos días: haga usted historia natural, y yo recibiré vuestras producciones con placer. Este libro no lo tomo más que por consideración a vuestros cabellos canos».

Aquí Napoleón —que con sus manifestaciones daba otra muestra de sus conocimientos científicos— se sumaba a un antiguo coro de opositores a Lamarck, que vieron con horror que éste se dedicase a partir de mediados de la década de 1770 a la publicación del *Annuaire météorologique*. Muchos de sus colegas le consideraron a partir de entonces como un simple autor de almanaques y predicciones.

Ciencia y científicos en las campañas de Italia y de Egipto

Entre las manifestaciones de la relación entre poder y ciencia, se encuentra la del empleo de la ciencia como

instrumento de dominación política de otros países y de colonización cultural de éstos. Pues bien, también nos encontramos con ambos aspectos en el caso de Napoleón, que se sirvió, o recabó la ayuda de la ciencia y de los científicos, en sus campañas de Italia y Egipto.

Cuando se repasa la carrera militar y política de Bonaparte se encuentra que un momento decisivo de ésta se produjo en marzo de 1796, cuando fue nombrado comandante del ejército francés en Italia, al mando de 50.000 hombres, y comenzó la campaña inmediatamente (abril). Le acompañaron, como miembros científicos de una «Comisión del gobierno para buscar objetos de ciencia y arte en los países conquistados por los ejércitos de la República» nombrada por el Directorio, el matemático y profesor de la École Polytechnique,[17] Gaspard Monge (1746-1818), y el químico Claude Louis Berthollet (1748-1822), cuyos nombres ya he mencionado. Ambos fueron no sólo magníficos científicos, sino también hombres conscientes del papel de la ciencia en la sociedad. Así, en su *Traité de géometrie descriptive*, publicado en 1799 y que contenía las lecciones que su autor había dado en la École Normale, Monge escribió:[18] «Para librar a la nación francesa de la dependencia a que ha estado sometida hasta ahora de la industria extranjera, es preciso en primer lugar dirigir la educación nacional hacia el conocimiento de los objetos que exigen exactitud, algo que ha estado desatendido hasta el presente».

Las victorias militares de Bonaparte se sucedieron con rapidez: en abril de 1796, su ejército ocupó Génova, en mayo, Milán y en junio, Livorno y Pisa. A mediados del verano de 1797, con el trabajo de la Comisión terminado, Monge, fundador de la geometría descriptiva, ya estaba cansado de Italia y pidió regresar a Francia. Sin embargo, Napoleón no lo aceptó. Prefería, para los momentos de relajación, la conversación con Monge y Berthollet que la de sus colegas militares. De hecho, también intentó ganarse a los científicos italianos: al astrónomo Oriani le aseguró que los hombres de ciencia ganarían con su conquista:[19]

«Todos los hombres de talento, todos los que han conseguido distinguirse en la república de la ciencia son franceses, sea cual sea su tierra natal».

Derrotados los austríacos (a los que, como compensación por las pérdidas territoriales que habían sufrido les cedió los territorios de la antigua República de Venecia), y establecida la República Cisalpina, Bonaparte regresó a París el 5 de diciembre de 1797, para encontrarse con la adulación y también con la sospecha, si no con el temor, hacia él por parte de los cinco miembros del Directorio, el nuevo régimen que sucedió a la Convención en noviembre de 1795 y que se mantendría hasta 1799. Dominada Italia, sólo Gran Bretaña estaba en guerra con Francia, y el Directorio nombró a Napoleón comandante del ejército formado para arrebatar Egipto a los ingleses. Monge y Berthollet lo acompañaron de nuevo, y con ellos un amplio grupo de científicos e ingenieros que ellos mismos seleccionaron en su mayor parte, una Comisión de Ciencias y Artes formada por 151 hombres, de los que 84 poseían títulos profesionales y 10 eran médicos. Del observatorio de París fueron los astrónomos Nicolas-Auguste Nouet, François Quesnot y Jérome Méchain, hijo del célebre, y ya citado, Pierre-François Méchain. Del Museo de Historia Natural, Geoffroy Saint-Hilaire, los naturalistas Jules-César Lelorgne de Savigny, Hippolyte Nectoux y Alyre Raffeneau-Delile. Algunos no eran todavía muy conocidos, pero lo serían en el futuro, como en el caso de Savigny (1777-1851), autor de obras como *Mémoires sur les animaux sans vertèbres* (1816).

También fue reclutado el célebre geólogo Déodat de Gratet de Dolomieu (1750-1801), uno de los primeros especialistas en volcanes y temblores sísmicos, miembro del Instituto de Francia desde 1795. Para animarle a emprender el viaje, Berthollet le prometió (no podía decirle todavía el destino): «Allá donde vamos, hay montañas y piedras». Su apellido ha pasado a la historia de al menos dos maneras: descubrió el carbonato de magnesio, que en su honor tomó el nombre de «dolomita», lo mismo que sucedió con los

montes Dolomitas, en los que realizó la que fue su última expedición mineralógica poco antes de morir.[20] En Egipto estudió la formación del delta del Nilo. No permaneció, sin embargo, demasiado tiempo en ese país, que abandonó, debido a las malas relaciones que mantenía con Bonaparte, el 7 de marzo de 1799. No tuvo, sin embargo, suerte. Retenido en Tarente, fue encerrado en una prisión veintiún meses, por instigación de la Orden de Malta, en la que él mismo había ingresado a la edad de dos años, convirtiéndose más tarde en comendador, aunque la abandonó de mala manera años después. Liberado gracias a la presión de la comunidad científica, falleció, agotado, poco después, el 28 de noviembre de 1801.

De la École Polytechnique fueron 45 alumnos, y también profesores, como Fourier, que actuó de reclutador, y Malus. Y también se requirió a estudiantes de otros centros de educación superior. Muy pocos fueron los que rechazaron participar en la expedición cuando se les pidió que lo hiciesen: Laplace, que se consideraba demasiado viejo, y Cuvier, que respondió que sería más útil a la ciencia permaneciendo en París, en medio de las inmensas y desorganizadas colecciones del Museo de Historia Natural, del que formaba parte desde poco antes (1795).

La fuerza expedicionaria francesa, formada por unos 38.000 hombres, se reunió en Toulon sin conocer cuál iba a ser su destino.[21] Antes de partir, el 19 de mayo de 1798, Napoleón animó a sus hombres con unas palabras que merece la pena recordar, porque el poder se magnifica cuando el poderoso une a su capacidad de intervenir en las vidas de otros la habilidad de hacer sentir a éstos partícipes de un gran proyecto:[22]

> Las legiones romanas, a las que habéis imitado a veces, pero a las que todavía no habéis igualado, combatían contra Cartago alternativamente en este mismo mar y en las llanuras de Zama. La victoria no las abandonó nunca, porque constantemente fueron valerosas, pacientes en soportar la fatiga, disciplinadas y estuvieron unidas entre sí.
>
> ¡Soldados, Europa tiene la mirada puesta en vosotros! Tenéis

> grandes destinos que cumplir, batallas que librar, peligros, fatigas que vencer; haréis más de lo que habéis hecho por la prosperidad de la patria, la felicidad de los hombres y vuestra propia gloria.

Animados por esta proclama, el ejército francés desembarcó en Alejandría el 1 de julio.

La descripción de Egipto

Desde el punto de vista de la cultura humanística y científica, los frutos de la expedición fueron importantes. Basta con echar un vistazo a la magna obra en la que se recopilaron una buena parte de esos logros: la *Description de l'Égipte*, que se abría con un prólogo de Jean-Baptiste Joseph, barón de Fourier (1768-1830), que todavía no había escrito su inolvidable *Théorie analytique de la chaleur* (*Teoría analítica del calor*; 1822).[23] Esta obra (de la que se imprimieron mil copias) está compuesta por nueve volúmenes infolio de texto, de unas ochocientas páginas cada uno, y once de láminas, que comprenden en total más de 3.000 ilustraciones.[24] Su preparación comenzó en 1801, apareciendo el primer volumen en 1809 y el último (un atlas) en 1829. En conjunto, la empresa duró, pues, treinta años, llegando a estar en nómina 36 autores (en 1809-1810). Su presupuesto anual era de 60.000 francos, siendo su coste total 1.500.000 francos. «No se conoce nada comparable a tal escala con anterioridad a la Segunda Guerra Mundial», ha señalado el eminente historiador Charles Gillispie.[25]

Los primeros tomos, que constituyen la primera parte, están dedicados a «*Antiquités*», los dos siguientes, al «*État moderne*», en los que se detallan los artefactos y vida del país desde el tiempo de la conquista árabe en el siglo VII hasta la ocupación francesa de 1798-1801, mientras que los dos últimos, «*Histoire naturelle*», ilustran la mineralogía, flora y fauna del valle del Nilo y la zona de la costa del mar Rojo. Como ejemplos de artículos dedicados a las ciencias

que aparecieron en esta obra mencionaré los siguientes:

1) En el tomo primero de «Antigüedades», Fourier publicó un «Estudio sobre las ciencias y el gobierno de Egipto», y el ingeniero geógrafo Edme-François Jomard uno titulado «El sistema métrico de los antiguos egipcios». En el tomo segundo, el propio Jomard trató de «Observaciones sobre los signos numéricos de los antiguos egipcios» y de «Los monumentos astronómicos de Egipto». Es obligado recordar, aunque no se trata realmente de ciencias naturales, que M. de Corancez presentó «Dieciséis láminas que representan la inscripción intermedia de la piedra de Rosetta». Naturalmente, si es obligado mencionar este ensayo es para recordar uno de los grandes, seguramente el mayor, éxitos de la expedición: el descubrimiento de la piedra Rosetta, al que me referiré más adelante.
2) En el tomo primero de «Estado moderno» nos encontramos con un artículo del astrónomo Nicolas Auguste Nouet sobre «Observaciones astronómicas», una «Noticia sobre los medicamentos usuales de los egipcios» de Rouyer y una «Descripción del arte de fabricar la sal de amoníaco» por Collet-Descotils.
3) Pasando ahora al tomo primero de «Historia natural», tenemos que en él Saint-Hilaire escribió artículos sobre, entre otros temas, los peces del Nilo, el mar Rojo y el Mediterráneo, y los reptiles de Egipto, y el zoólogo Jules Savigny acerca de las aves, cocodrilos, moluscos y anélidos de Egipto y Siria, mientras que en el tomo segundo el astrónomo Nicolas Auguste Nouet firmó un ensayo titulado «Observaciones sobre las variaciones horarias del barómetro. Observaciones meteorológicas e hidrométricas».

El Instituto de Egipto

Una muestra especialmente destacada de que la dimensión científica no estaba ausente de la expedición

napoleónica a Egipto es la creación de un Instituto de Egipto, modelado a imagen y semejanza del Instituto de Francia. El 22 de agosto de 1798, Napoleón promulgó un decreto por el que se creaba: «Habrá en Egipto un Instituto para las ciencias y las artes, cuya sede se establecerá en El Cairo», señalaba, identificando como sus funciones:[26]

1) El progreso y la propagación de las Luces en Egipto.
2) La investigación, el estudio y la publicación de hechos naturales, industriales e históricos sobre Egipto.
3) Aconsejar sobre las diferentes cuestiones sobre las que sea consultado por el gobierno.

El número total de los miembros del Instituto durante los tres años de ocupación fue de 51. Veintiséis pertenecieron a una u otra de las dos secciones científicas, las de «Matemáticas» (de la que formaron parte Andréossy, Costaz, Fourier, Girard, Le Père, Leroy, Malus, Monge, Nouet, Quenot, Say y el propio Napoleón), y «Física» (Berthollet, Champy, Conté, Descotils, Desgenettes, Dolomieu, Dubois, Saint-Hilaire, Raffeneau-Delile y Savigny), estando las restantes dedicadas a «Economía política» y «Artes y letras».[27] Monge fue elegido presidente y Fourier secretario perpetuo.[28] En total se celebraron 62 sesiones.

Como ejemplos de las actividades del nuevo Instituto mencionaré que el 29 de julio de 1799 Monge leyó un borrador de una memoria sobre geometría infinitesimal publicada después en el *Journal de l'École Polytechnique* (1802), el primero de tres artículos incluidos más tarde en su libro *Application de l'analyse à la géometrie* (1807). Por su parte, Fourier presentó cuatro artículos. El primero, «Notes sur la mécanique genérale», era probablemente producto de uno de los primeros artículos científicos que publicó, una memoria sobre velocidades virtuales en el *Journal de l'École Polytechnique* (1798), lo único que publicó en toda su vida sobre mecánica clásica. Los tres restantes trataban de teoría de ecuaciones. Malus, discípulo de Monge, leyó una

memoria sobre ecuaciones diferenciales; parece que pretendió presentar también una sobre la luz, campo en el que se haría famoso, pero no lo hizo. En cuanto a Berthollet, aportó un trabajo sobre la formación del amoníaco y otro sobre análisis de la atmósfera.

Ninguna de estas u otras aportaciones tuvo la misma importancia que la relación que el Instituto de Egipto mantuvo con la célebre piedra Rosetta, descubierta el 19 de julio de 1799. En realidad, su hallazgo fue fortuito, no fruto de los programas científicos o arqueológicos puestos en marcha por la expedición francesa. La versión más plausible de su descubrimiento es que se encontraba en un antiguo muro que obstaculizaba los trabajos para la ampliación de lo que más tarde sería denominado Fort Julien. El oficial a cargo de la demolición, el teniente François-Xavier Bouchard, se dio cuenta inmediatamente de que las inscripciones trilingües podrían proporcionar la clave para descifrar los jeroglíficos que aparecían en la parte superior y los escritos griegos que se hallaban en la parte inferior. A mediados de agosto, la piedra fue llevada al Instituto, casi al mismo tiempo que Napoleón abandonaba Egipto. Allí, dos orientalistas, Jean-Joseph Marcel y Remi Raige, comenzaron a estudiar las inscripciones con la ayuda de un experto en el mundo clásico, Jacques-Denis Delaporte. Al mismo tiempo que estudiaban los textos, empezó la tarea de copiarlos, comprobándose que no era posible obtener una reproducción perfecta. Sin embargo, Marcel, que era también director de la imprenta del centro, pensó que la propia piedra podría servir de molde, adelantándose en unos diez años a la invención de la litografía. Después de lavarla y derramar tinta sobre la superficie ya seca, se presionó suavemente una lámina que al contacto con las partes que sobresalían produjo una reproducción perfecta del texto, las letras en blanco sobre un fondo negro. También se realizó una copia empleando técnicas que se utilizaban en placas de cobre, y más tarde un molde. Para los franceses fue afortunado que se hicieran todos estos trabajos, ya que de otra manera se habrían quedado sin

nada, pues la piedra Rosetta, junto a otros tesoros arqueológicos encontrados por el ejército galo, pasó a manos de los británicos como botín de guerra y terminó en el Museo Británico de Londres.

Impulso a las carreras de algunos científicos

La expedición a Egipto constituyó un trampolín para algunas carreras científicas. Así, a su regreso de Egipto, Fourier se convirtió en prefecto de Isère, puesto que mantuvo entre 1802 y 1815. Fue mientras ocupaba este cargo cuando presentó (en diciembre de 1807) al Instituto de Francia su monografía sobre la difusión del calor, que, revisada, formaría la base de su ya mencionado *Théorie analytique de la chaleur*, uno de los clásicos de la ciencia, publicado en 1822. Por su parte, el médico René Nicolas Desgenettes se convirtió, primero, en profesor de la École de Médicine de París, y después (1804) en inspector general del Servicio de Salud de los Ejércitos. Su colega Dominique-Jean Larrey fue designado cirujano jefe de la Grande Armée, cargo que mantuvo hasta Waterloo, en donde fue herido y hecho prisionero. Considerado generalmente como el organizador de la cirugía militar francesa, fue, entre otras cosas, el inventor de las ambulancias móviles y de técnicas especiales para curar fracturas. Miembro del Instituto de Francia, al igual que Desgenettes fue elevado por Napoleón a la nobleza imperial. Las carreras de los ingenieros también se vieron impulsadas, aunque de manera más modesta.[29]

El ascenso al poder de Laplace, que en 1793 había sido expulsado de la Comisión de Pesas y Medidas por haber expresado su apoyo a Lavoisier (con quien escribió importantes trabajos sobre el calor), fue meteórico. Primero fue ministro del Interior, cargo para el que Napoleón le nombró el 9 de noviembre de 1799, aunque duró muy poco en el puesto, solamente seis semanas; luego miembro del Senado y canciller de esta institución a partir de 1802. En 1808 accedió a la nobleza imperial como conde del imperio

y recibió múltiples honores que hicieron de él uno de los personajes más «presentes» de la nueva sociedad. Y los honores iban acompañados de magníficas retribuciones.

Al convertirse en senador, un cargo vitalicio, Laplace comenzó a recibir una gratificación anual de 25.000 francos. Como canciller recibía 6.000 francos más al mes. El químico Jean-Antoine Chaptal, también senador, recibía, gracias a ser también tesorero, 72.000 francos anuales (cuando fue ministro del Interior —Napoleón le designó para este cargo el 6 de noviembre de 1800, en sustitución de Laplace; permaneció en el puesto hasta 1804, organizando la administración napoleónica—, su sueldo era de 36.000 francos, más 12.000 para gastos de representación). En 1806, Monge recibió 100.000 francos como presidente del Senado. En 1812, Berthollet acumuló los puestos de senador (25.000 francos), profesor en la École Polytechnique (6.000 francos), miembro del Instituto (1.500), y gran oficial de la Legión de Honor (5.000). Su relación con Napoleón y el imperio que éste construyó le fue, sin duda, rentable: en 1785 sus ganancias anuales eran de unos 2.000 francos, mientras que en 1812 habían ascendido a 67.500. Para que nos hagamos una idea de lo que todo esto significaba, recordaré que el salario medio de un obrero parisino era de alrededor de 60 francos mensuales.

Otro caso es el de Cuvier. En 1800, el mismo año que sucedió al zoólogo Louis Jean Marie Daubenton,[30] como profesor de Historia Natural en el Collège de France, Cuvier se implicó intensamente en la reorganización de la enseñanza superior en Francia. Por entonces también se ganó el respeto y los favores de Napoleón (recordemos que Cuvier había rechazado sumarse a la expedición a Egipto), y cuando en 1808 se estableció la Universidad de París, fue nombrado uno de sus consejeros, teniendo mucho que ver con la reestructuración de la Sorbona y el establecimiento de facultades universitarias en provincias. Más tarde, el emperador le concedió el título de *chevalier*. Restablecida la monarquía, el prestigio de Cuvier era tan grande que sus

relaciones con Bonaparte no le perjudicaron: no sólo se le permitió conservar los cargos que poseía sino que se le nombró consejero de Estado. En 1818 entró a formar parte de la Académie Française, en 1819 recibió el título de barón, y tras la Revolución de 1830 el de par de Francia.

Y no olvidemos que también fueron senadores Cousin, Monge, Lagrange, Darcet, Daubeton, Cabanis y Lacépède. En cuanto a Fourcroy y Chaptal fueron nombrados también consejeros de Estado.

La Société d'Arcueil

Otra muestra de las ayudas de Napoleón a la ciencia de su país la encontramos en una aparentemente pequeña institución, que sin embargo ocupa un lugar de importancia en la historia de la ciencia francesa de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX: la Sociedad de Arcueil.[31]

Poco después de regresar de Egipto con Napoleón en 1799, Berthollet compró una amplia casa de campo en la zona de Arcueil, aproximadamente a una hora de distancia del centro de París. Allí instaló un laboratorio de química y equipó una habitación con instrumentos de física. Insatisfecho con la teoría de afinidades electivas que él mismo había enseñado en la École Normale, Berthollet se planteó obtener un mejor conocimiento físico de la naturaleza de la combinación química, interés que conduciría a su conocido texto en dos volúmenes, *Essai de statique chimique* (1803), una obra pionera de lo que se convertiría casi un siglo más tarde en la química-física.

Estimulado por la compra realizada por Berthollet, Laplace, que había forjado con aquél una amistad no sólo por intereses científicos comunes y cierta afinidad personal, sino también a través de la conexión que ambos mantuvieron con Bonaparte, adquirió una casa adyacente a la de Berthollet mudándose a ella desde París. Tal fue el origen de la Société d'Arcueil, organizada informalmente en 1807 y cuyas actividades se prolongaron hasta 1815.

Constituida inicialmente por nueve miembros, después

se sumaron seis más. Esencialmente, eran jóvenes estudiantes de la École Polytechnique (de cuyo Consejo de Perfeccionamiento formaron parte Berthollet y Laplace durante el período napoleónico), que ambos incorporaron a la Sociedad introduciéndoles en la investigación científica. Por parte de Berthollet, se incorporaron a la Sociedad su hijo Amédée Berthollet (1780-1810), que se distinguió en la industria de los colorantes, Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850), recordado especialmente por su ley de combinación de los gases, y Pierre Louis Dulong (1785-1838), cuya fama está relacionada con leyes del tipo de la conocida como «de Dulong y Petit», mientras que por la de Laplace, tenemos a Jean-Baptiste Biot (1774-1862), Étienne Louis Malus (1775-1812), al que ya me he referido con anterioridad, Siméon Denis Poisson (1781-1840) y François Arago (1786-1853), que realizó contribuciones significativas al estudio de la luz, magnetismo y electricidad. También formaron parte de la agrupación Louis Jacques Thenard (1777-1857), conocido especialmente por sus trabajos sobre el sodio, el potasio y el agua oxigenada, Hippolyte-Victor Descotils (1773-1815), que destacó en la química del platino y al que Berthollet reclutó para la expedición a Egipto (más tarde fue jefe del laboratorio de la École de Mines), Jacques-Étienne Bérad (1789-1869), asociado al nacimiento de la fotoquímica, Chaptal, una vez libre de sus obligaciones ministeriales, y dos notables científicos extranjeros residentes en París: Alexander von Humboldt y Auguste-Pyrame de Candolle.

Desgraciadamente, no puedo entrar en las actividades de la Sociedad, cuyos logros científicos muestran no sólo los nombres de sus miembros, y el hecho de que durante un tiempo éstos encontrasen en Arcueil un lugar acogedor y con estimulante compañía para investigar, sino también los tres volúmenes de *Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil*, publicados en 1807, 1809 y 1817.

¿Qué tuvo que ver Napoleón con todo esto? Al fin y al cabo, nunca asistió a una de las reuniones que se celebraron en Arcueil. La respuesta tiene que ver con el dinero. Ni

Berthollet ni Laplace eran al principio personas con demasiados medios económicos, no desde luego tantos como para haber podido comprar las propiedades e instrumentos que he mencionado, menos aún para apoyar económicamente a los jóvenes científicos que se reunieron en torno a ellos. De hecho, Berthollet resultó ser bastante malo administrando todo el dinero que a través de Napoleón ganó, acumulando un importante número de deudas hacia 1807. Pero Laplace escribió directamente a Napoleón, entonces a la cabeza de su ejército en Prusia, recordándole los servicios de Berthollet y pidiéndole un préstamo de 100.000 o 150.000 francos. Monge se sumó a la petición y Bonaparte respondió inmediatamente, no con un préstamo sino con una ayuda de 150.000 francos. En agradecimiento, Berthollet concluyó su prefacio al primer volumen de las *Mémoires* con las siguientes palabras:[32]

> El progreso de la física es de gran interés ya que su propósito es descubrir las causas verdaderas de los fenómenos, identificar las fuerzas de la naturaleza y señalar sus aplicaciones a la industria humana.
>
> Ojalá que el celo de la Sociedad de Arcueil para alcanzar semejantes metas merezca la aprobación de la augusta cabeza de nuestro gobierno.
>
> Ojalá la paz, el deseo que durante mucho tiempo ha estado en el corazón del héroe triunfante, permita a su genio extender su fructífera influencia sobre las artes y las ciencias, lo que ya por sí solo habría bastado para asegurar su gloria, incluso si el destino del mundo no hubiese sido puesto en sus manos.

Honores a científicos extranjeros

La ciencia es, tomada en su conjunto y desde una perspectiva global, histórica, una empresa transnacional, aunque, por supuesto, su historia no esté desprovista de episodios en los que las rivalidades nacionales hayan desempeñado algún protagonismo. Napoleón participó de diversas maneras de ese, verdadero, espíritu de la ciencia, que busca superar las fronteras nacionales establecidas por

los humanos. La creación del Instituto de Egipto se puede entender desde esa perspectiva, aunque impregnada de los deseos imperialistas franceses (la ciencia, ya lo dije antes, puede ser también un instrumento de imperialismo cultural y político), pero existe al menos otro apartado que muestra la amplitud de miras —no desprovista, como indicaré, de motivaciones políticas— de Bonaparte, el de que su interés o amor por la ciencia le llevaba a reconocer la excelencia cuando se encontraba ante ella.

Alessandro Volta

Un caso especialmente señalado en este sentido es el del científico italiano Alessandro Volta (1747-1827).

En 1800, y relacionado con una polémica que había mantenido con Luigi Galvani sobre la naturaleza de la electricidad que éste observaba en las ancas de ranas colgadas de piezas metálicas, Volta, catedrático de Filosofía Natural en la Universidad de Pavía, culminó la invención de su famosa «pila» («batería») eléctrica. Inmediatamente, el italiano envió una carta a Joseph Banks, presidente de la Royal Society, que hizo que fuese publicada (en su original francés) en las *Philosophical Transactions*, siendo traducida al inglés inmediatamente para su publicación en el *Philosophical Magazine*.33

La pila construida por Volta se componía de una serie de discos apilados unos sobre otros en el orden siguiente: un disco de cobre, otro de cinc, una rodaja de paño empapada en agua acidulada, luego un disco de cobre, otro de cinc, una nueva rodaja de paño, y así sucesivamente en el mismo orden, cuidando de sostener los discos mediante tres cilindros aislantes de vidrio. Se trataba de un instrumento revolucionario, ya que producía corriente eléctrica de manera continua, y no mediante descargas, como sucedía en las tan difundidas entonces «botellas de Leiden», y ello abría de par en par las puertas al estudio de los fenómenos eléctricos. En más de un sentido se puede y debe decir que la ciencia del siglo XIX, uno de cuyos pivotes

fue la física de la electricidad y el magnetismo, comenzó —o se hizo posible— con la pila de Volta.

En el artículo que acabo de mencionar, Volta presentaba su hallazgo con las siguientes palabras:[34]

> Después de un largo silencio, por el cual no ofrezco ninguna excusa, tengo el placer de comunicarle a usted, y a través de usted a la Royal Society, algunos resultados notables que he obtenido continuando con mis experimentos sobre la electricidad excitada por el mero contacto mutuo entre diferentes tipos de metales, e incluso por el de otros conductores, también diferentes entre sí, ya sean líquidos o contengan algún líquido, a los que se debe propiamente su poder conductor. El principal de estos resultados, que prácticamente comprende todo el resto, es la construcción de un aparato que se parece en sus efectos (esto es, en la conmoción que es capaz de producir en los brazos, y otras experiencias) a la botella de Leiden, o, más bien, a una batería eléctrica cargada débilmente que actúa incesantemente, y que se cargase a sí misma después de cada explosión; en una palabra, que tuviese una carga inagotable, una acción o impulso perpetuo o impulso sobre el fluido eléctrico.

En septiembre de 1801, Volta partió hacia París con el objetivo de difundir su descubrimiento. No era, en absoluto, un francófilo, sino un anglófilo, como demuestra el que enviase las primeras noticias de su pila a Inglaterra. De hecho, su comportamiento únicamente se puede entender en clave política. Así, cuando anunció al presidente de la Royal Society inglesa su descubrimiento, Austria, aliada de los británicos, había recuperado momentáneamente el control de Lombardía, donde Volta enseñaba, tras la invasión de los franceses en la primavera de 1796.[35] Y cuando viajó a París en el otoño de 1800, las tropas galas habían reestablecido el control por parte de Francia de Italia. También, por supuesto, hay que tener en cuenta que entonces a ojos de muchos era París, y no otras ciudades como Londres, el centro de la ciencia mundial. En caso de Volta, en consecuencia, nos muestra una faceta, en la que prima el interés personal y no otros más «desprendidos», que no escasea entre los científicos (al igual que en

cualquier otro profesional), dándose con más frecuencia cuando mayores son las posibilidades de beneficio personal, posibilidad que se ha incrementado especialmente a partir de las últimas décadas del siglo XX.

En París, Volta se entrevistó con Chaptal, Berthollet, Monge, Fourcroy y Cuvier, siendo asimismo invitado a asistir a las reuniones de Arcueil, al igual que a presentar sus resultados en el Instituto de Francia. Napoleón asistió a las tres demostraciones que realizó Volta en el Instituto, y quedó tan impresionado que concedió al científico italiano una medalla de oro del Instituto de Francia y un premio de 6.000 francos.

«Quedó tan impresionado», he dicho, y sin duda es cierto, pero ello no nos debe hacer interpretar las decisiones de Napoleón sólo en clave científica, como el justo reconocimiento a un descubrimiento científico de gran importancia. Hubo también motivaciones políticas. Recordemos en este sentido que Napoleón presentó al Instituto la propuesta de la medalla a Volta, dos días antes de que tuviese lugar la ceremonia oficial (prevista para el 9 de noviembre de 1801) de las celebraciones por el tratado de paz de Lunéville que se había firmado con Austria en febrero de 1801. De hecho, en la declaración que acompañó a la concesión de la medalla, se señalaba que Volta era el primer científico extranjero que había participado en una sesión del Instituto de Francia tras la firma del tratado de paz. No es aventurado, por consiguiente, suponer que la recompensa pretendía mostrar que el Instituto —y Francia — estaba dispuesto a recibir contribuciones de científicos extranjeros una vez establecida la paz, promoviendo de esta manera entre las élites europeas la imagen de Napoleón como un benefactor de las ciencias.[36] Otras claves eran evidentes: Volta había servido a Austria durante veintiún años, había presentado su descubrimiento en Inglaterra (aunque, bien es cierto, en francés), pero ahora era un ciudadano de la República Cisalpina, que estaba bajo la influencia de Francia, que reconocía sus méritos.

El Instituto, por cierto, cumplió con los deseos de

Bonaparte, concediendo a Volta la medalla en la sesión del 17 de noviembre.

En junio del año siguiente, 1802, Napoleón anunció que establecería una medalla de oro y un premio de 3.000 francos anuales para el mejor experimento que se realizase cada año sobre el «fluido galvánico». Más aún, creó un premio de 60.000 francos, que se otorgaría una sola vez, para quien llevase a cabo descubrimientos en electricidad y galvanismo comparables a los realizados por Benjamin Franklin y Volta.

Humphry Davy

Humphry Davy (1778-1829) fue uno de los que recibieron el premio de la medalla de oro y los 3.000 francos, en 1806, en reconocimiento de sus trabajos en los que había utilizado la pila de Volta para descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno, así como por haber descubierto el potasio y el sodio utilizando el mismo método, el de la electrolisis. Es relevante señalar que Davy era súbdito de una nación, Gran Bretaña, en guerra con Francia desde 1793. En marzo de 1802, es cierto, se firmó un tratado de paz, en Amiens, pero a la postre éste sólo proporcionó un breve período de respiro, ya que las hostilidades se reanudaron en mayo de 1803, momento en que virtualmente todos los ciudadanos británicos que vivían en Francia se convirtieron en prisioneros de guerra o en civiles detenidos. Hubo, no obstante, algunos contactos, pocos desde luego, especialmente a partir de 1813, el año, precisamente, en el que Davy viajó a París para recoger su premio. Por cierto, que en aquel viaje Davy llevó con él, más como una especie de ayuda de cámara que como ayudante científico, a Michael Faraday (con el que nos volveremos a encontrar en el capítulo siguiente), que hacía muy poco se había convertido en su ayudante en la Royal Institution de Londres. Faraday compuso un diario del viaje, en el que podemos leer algunas de sus impresiones de lo que vio en aquella Francia en la que todavía reinaba

Napoleón, aunque en una posición bastante debilitada tras las severas pérdidas que su ejército había sufrido después de la retirada de Moscú a finales de 1812; de hecho, su situación empeoró en octubre de 1813, cuando fue derrotado en la batalla de las Naciones en Leipzig, aunque sólo fue obligado a abdicar, con el éxito de la coalición de aliados en contra suya, en abril de 1814, exiliándose en la isla de Elba, de la que escapó, para regresar a Francia el 1 de marzo de 1815. Finalmente, como es bien sabido, la gran derrota le llegó el 18 de junio de 1815, en la famosa batalla de Waterloo.

Una de las anotaciones del diario de Faraday que muestran lo excepcional de la visita de Davy es la siguiente, fechada el 9 de noviembre (1813):[37]

> Fui a la Prefectura de Policía para [obtener] un pasaporte, ya que no está permitido para nadie que no sea un habitante de París, y cuyo nombre no esté registrado como tal, estar en la ciudad sin uno... Al entrar vi una gran sala en la que estaban unos veinte administrativos con enormes libros delante de ellos y mucha gente fuera de las mesas, todos los cuales estaban allí por cuestiones relacionadas con pasaportes. El mío era un caso peculiar y pronto me prestaron atención ya que excepto sir H. Davy no había ningún otro pasaporte en sus libros para un inglés libre. Un americano que estaba allí y que (dándose cuenta de que yo no comprendía el francés) me había hablado, me dijo que apenas daba crédito a sus ojos cuando les vio preparar el papel para un inglés libre.

El gobernante frente al científico librepensador

Es famosa la anécdota según la cual Napoleón preguntó a Laplace el motivo por el que en su gran *Traité de mécanique céleste* no aparecía la noción de Dios. «Sire, es una hipótesis de la que no tengo necesidad», dicen que le contestó el físico y matemático. No creo que al emperador le molestase la opinión de Laplace. Es posible, incluso, que comprendiese bien que un científico pensase de tal forma. Llegaría, no obstante, el momento en que Bonaparte no

mostró la misma comprensión. Y me interesa recordar una de las ocasiones en que no la demostró, porque ilustra la tensión, acaso una tensión esencial, que puede llegar a producirse entre el gobernante y el científico, aunque se trate de un gobernante tan interesado por la ciencia como Napoleón.

Si tenemos en cuenta que los primeros tomos del *Traité de mécanique céleste* aparecieron en 1799, es de suponer que la pregunta de Napoleón y la respuesta de Laplace se produjeron por entonces. Sin embargo, las responsabilidades políticas de Bonaparte no hicieron sino crecer desde entonces, culminando en 1804, cuando fue proclamado emperador hereditario (el año siguiente fue coronado en Milán rey de Italia). Pero desde las alturas que proporciona un trono, no se contemplan necesariamente con la misma benevolencia las manifestaciones de un científico que pueden ser interpretadas como, por ejemplo, en defensa del ateísmo. Y el ya emperador vio que algunos científicos no se recataban en este punto, entre ellos uno de sus enemigos, Joseph Jérôme Lefrançais de Lalande, profesor del Collège de France desde 1760, autor de un voluminoso *Traité d'astronomie* editado por primera vez en 1764, de nuevo en 1771 y revisado en 1792, que todavía en 1800 constituía la base obligada para los estudios de los futuros astrónomos. El político, el monarca, no podía permitir tal comportamiento, y el 13 de diciembre de 1805, Napoleón escribió a su ministro del Interior, Champagny, lo siguiente:38 «Es con un sentimiento de dolor como me entero de que un miembro del Instituto, célebre por sus conocimientos, pero que ha vuelto hoy a la infancia, no tiene la suficiente sabiduría para callarse y busca que se hable de él, tanto por manifestaciones indignas de su antigua reputación y del cuerpo al que pertenece como por profesar el ateísmo, principio destructor de toda organización social, que quita al hombre todos sus consuelos y todas sus esperanzas. Mi intención es que llame usted al presidente y al secretario del Instituto, para que se encarguen de hacer saber a este ilustre cuerpo, del que

tengo honor de formar parte, que debe ordenar a Lalande... que no publique nada más, y no oscurezca en sus años postreros lo que hizo en sus días de más vigor para obtener la estima de los sabios; y si estas invitaciones fraternales no fuesen suficientes, me vería obligado a recordarme que mi primer deber es impedir que se envenene la moral de mi pueblo. Porque el ateísmo es destructor de toda moral, si no en los individuos, al menos en las naciones».

Y terminaba con una fórmula habitual en las cartas de los antiguos reyes: *«Sur ce, je prie Dieu qu'il vous ait en sa sainte garde»* («Sobre esto, ruego a Dios que os tenga en su santa guarda»).

En la confrontación entre las necesidades políticas y los argumentos científicos, una de las manifestaciones de la relación entre poder y ciencia, venció en este caso —como en muchos otros— la política.

Valoración de la importancia de Napoleón para la ciencia francesa de su época

A pesar de todo lo que he dicho hasta el momento, cuando se analiza lo que Napoleón aportó a la ciencia francesa, encontramos que no hizo prácticamente nada en favor del Museo Nacional de Historia Natural, ni por la Facultad de Medicina; nada, desde luego, que la Convención o el Directorio no hubiesen hecho. Así, el Museo de Historia Natural había surgido de la transformación del antiguo Jardin du Roi en 1793. Por otra parte, el Collège de France había reemplazado al Royal College en 1795, el mismo año en el que el Instituto Nacional de Ciencias y Artes había sustituido a la vieja Academia Francesa y otras instituciones reales, abolidas dos años antes. Es cierto, no obstante, que instituciones como éstas continuaron disfrutando de su favor, aunque también en ocasiones de alguna represalia: en enero de 1803, por ejemplo, reorganizó —se podría decir también que disolvió y recreó— el Instituto Nacional cuando los miembros de la Segunda Clase, constituida por los denominados

«Ideologues», la de «Moral y Ciencias Políticas», tuvieron conflictos con él con motivo del Concordato firmado en junio de 1801 con el papa Pío VII, así como del establecimiento de tribunales especiales y la abolición de las Écoles Centrales. A partir de entonces el Instituto se organizó en cuatro clases, estando dedicada la nueva Segunda Clase a «Lengua y literatura francesa», compuesta por cuarenta «Inmortales», entre los que se encontraban varios de los antiguos académicos. En este sentido, se le puede considerar como el fundador del Instituto de Francia tal y como lo conocemos.

En lo que Napoleón estaba realmente interesado era en las ciencias exactas. Fue él, por ejemplo, quien dio a la École Polytechnique, creada por la Revolución como una alternativa a la Academia de Ciencias (que, por otra parte, el propio Bonaparte restauró), la dimensión elitista, y fuertemente matemática, que finalmente la ha caracterizado. La militarizó en 1805. Fueron sobre todo matemáticos, físicos y químicos a los que honró y recurrió para que colaboraran en la construcción del Estado que deseaba establecer. Como hemos visto, al hacerlo enriqueció y dio un gran poder a algunos científicos, pero ¿podemos entender esto como dar poder a la ciencia? No necesariamente, puesto que el poder que aquellos científicos ejercieron fue, sobre todo, poder político, no científico. Es posible, de hecho, argumentar que al instalar a esos científicos en el poder político, limitase la obra científica que podrían, en otras circunstancias, haber acaso producido. En cualquier caso, de lo que no hay duda es de que Napoleón Bonaparte fue un político que amó como probablemente ningún otro a la ciencia. Aunque también le ayudó el tiempo en el que vivió. Por mucho que a la postre negase algunas de las premisas más básicas, y más democráticas, de la Revolución Francesa, estuvo firmemente entroncada con ella. Y la Revolución y los revolucionarios veían en la ciencia un instrumento vital para la liberación de los hombres y los pueblos.

Epílogo: Napoleón y la «verdad» histórica

Como epílogo a este capítulo, me aprovecharé del caso de Napoleón para abordar un punto al que ningún historiador ni libro de historia puede ser ajeno.

La historia pretende recuperar el pasado, mostrarnos lo que ocurrió entonces, pero esto es algo que, obviamente, sólo se puede lograr mediante un proceso de «reconstrucción»: interpretamos datos, documentos, para construir narraciones que llamamos «historia». No puede ser, por supuesto, de otra manera, y nos afanamos por evitar las interpretaciones erróneas. Pero los riesgos son muchos. No pretendo enumerarlos aquí, pero puesto que este primer capítulo está dedicado a Napoleón Bonaparte, voy a recurrir a él para realizar un breve comentario sobre la dificultad inherente a la reconstrucción histórica, lo elusivo que es la búsqueda de la verdad en la historia. En el ya citado *Memorial de Santa Elena*, el conde de Las Cases recordaba algo que el antiguo todopoderoso emperador de Francia le había dicho:[39]

> Se atribuirá con frecuencia mucha profundidad y sutileza de mi parte a lo que quizá no fue sino lo más simple del mundo; se me supondrán proyectos que no tuve jamás. Se preguntarán si yo tendía en efecto a la monarquía universal o no. Se razonará largamente para saber si mi autoridad absoluta y mis actos arbitrarios derivaban de mi carácter o de mis cálculos; si los producía mi inclinación o la fuerza de las circunstancias; si mis guerras constantes procedieron de mi afición, o sólo fui llevado a ellas de mala gana; si mi inmensa ambición, tan reprochada, tenía por guía la avidez del dominio, la sed de gloria o la necesidad del orden o el amor al bienestar general; porque merece ser contemplada desde diversos aspectos... Con frecuencia se alambicará, se retorcerá lo que fue completamente natural y enteramente recto. No me correspondía a mí tratar aquí especialmente todos estos alegatos, y los desdeño. Si en lo que he dictado sobre las materias generales, la rectitud y la sagacidad de los historiadores encuentran algo con que formarse una opinión precisa y verdadera sobre lo que no menciono, tanto mejor. Pero al lado de esos débiles destellos, ¡cuántas falsas luces los asaltarán!... Desde las fábulas y los

> embustes de los grandes intrigantes, cada uno de los cuales tuvo su fin y realizó maniobras, negociaciones particulares que, identificándose con el hilo verdadero, complican el total de una manera inextricable, hasta las revelaciones, ... las afirmaciones mismas de mis ministros, hombres de bien que sin embargo dirán mucho menos lo que sucedió que lo que ellos creyeron que sucedió; porque, ¿hay alguno que tuviera completo mi pensamiento general? Su porción especial no era, la mayoría de las veces, más que los elementos del gran conjunto que ellos no sospechaban. No habrán, visto, pues, más que el lado del prisma que les corresponde: y además, ¡cómo lo habrán captado! ¿Lo habrán visto pleno y entero? ¿No estaba en sí mismo dividido? Y sin embargo no hay probablemente ni uno solo que, por los detalles que le hayan llegado, no dé como mi verdadero sistema el resultado fantástico de sus propias combinaciones; y de ahí además la fábula convenida que se llamará historia.

Espero, no obstante, que lo que el astuto y emprendedor militar corso señaló en la cita anterior no se aplique al contenido de este libro.

Capítulo 2

LA INSTITUCIONALIZACIÓN DE LAS CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE EL SIGLO XIX Y COMIENZOS DEL XX

Instalados ya en el siglo XXI, testigos y usuarios de los plurales poderes de la ciencia, que se manifiestan no sólo en las muy variadas formas en que el conocimiento científico afecta a nuestras vidas, sino también en la importancia que dan a la ciencia prácticamente todos los gobiernos, acaso muchos sientan la tentación de pensar que esa importancia ha sido reconocida desde hace tiempo, confundiéndose casi con el propio surgir de la empresa científica. La historia es, sin embargo, muy diferente, independientemente de que la ciencia haya atraído con fuerza la atención de gobernantes (como vimos en el capítulo anterior a propósito de Napoleón) y élites sociales en diversos momentos del pasado anterior a los siglos de los que me ocupo en este libro.

Uno de esos momentos fue, evidentemente, el siglo XVIII, el Siglo de las Luces, el siglo de la Ilustración, la centuria en la que, como escribió Zygmunt Bauman, «ascendió al trono una nueva deidad, la Naturaleza, junto con la legitimación de la ciencia como su único culto ortodoxo y el de los científicos como sus profetas y sacerdotes».1 Estimulada por las perspectivas que abría la física newtoniana, una gran parte de Europa se vio entonces sacudida por la convicción de que la ciencia y la técnica podían y debían mejorar radicalmente las vidas materiales y espirituales de todos. Una convicción que compartieron no sólo aquellos que solemos denominar, con no siempre un criterio transparente, «intelectuales», sino también reyes y ministros con responsabilidades de gobierno. Europa, en

definitiva, se pobló de «ilustrados». Ahora bien, a pesar de la creencia de que el futuro, un futuro mejor, más libre, noble y «humano», se encontraba unido a los saberes científicos y tecnológicos, ni la ciencia ni los científicos llegaron a ocupar un lugar —en ámbitos sociales centrales como pueden ser la política, la industria o la economía— lo suficientemente amplio y vital como para poder decir que la práctica y profesión científicas se convirtieron entonces en una actividad propia de una «clase laboral» formada mayoritariamente por profesionales que se ganaban la vida con su trabajo científico. Salvo en Francia con Napoleón, y aun en este caso sólo con respecto a las élites científicas, al principio, la situación no cambió con el nuevo siglo. Así, a comienzos del siglo XIX la posición social e institucional de la ciencia distaba mucho de ser la que llegaría a tener más tarde. Con la posible excepción de algunas academias y de unas pocas instituciones, mantenidas por el Estado, la ciencia y los científicos se encontraban a merced de sus propios medios, más aún si tenían la intención de intentar hacer avanzar su disciplina (esto es, cuando pretendían ser investigadores y no meros profesores). Ni siquiera el que disciplinas científicas formasen parte de los programas de estudios de algunas facultades universitarias llevaba a los poderes públicos a preocuparse demasiado por las necesidades de aquellos «filósofos de la naturaleza», para los que, en el curso del siglo, se terminó acuñando un nuevo término: «científicos».[2]

Pero aunque, como explico a lo largo de este libro, ciencia y sociedad caminan juntas, influyéndose mutuamente —lo que quiere decir, entre otras cosas, que una sociedad favorable a la ciencia hace que ésta avance más rápidamente—, a veces, por motivos muy diversos, ese avance se produce incluso en un medio social no especialmente predispuesto a apoyar la práctica científica. Esto es lo que sucedió justo al comienzo del Ochocientos, cuando química y física —las ciencias de las que me ocuparé en este capítulo— se unían espectacularmente, como si quisieran presagiar lo mucho que ambas aportarían

a lo largo de la centuria al conocimiento y explotación de la naturaleza. En 1800, Alessandro Volta, con quien ya nos encontramos en el capítulo anterior, descubría la pila eléctrica, que tanto impresionó a Napoleón, un aparato para producir flujos de corriente *eléctrica* continua utilizando procesos *químicos*. Con este nuevo instrumento, William Nicholson y Anthony Carlisle confirmaron aquel mismo año hallazgos anteriores del gran Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), el creador de la química moderna y víctima del Terror que acompañó a la Revolución Francesa, al observar que el agua se descompone en dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno cuando la atraviesa una corriente eléctrica, un fenómeno denominado «electrolisis», cuyas leyes serían enunciadas en 1833 por Michael Faraday (1791-1867), tal vez el científico más importante de todo el siglo XIX, precisamente por sus contribuciones al electromagnetismo y a la química (en 1825 descubrió el benzeno, que iba a desempeñar un papel central en los trabajos posteriores de August Kekulé [1829-1896], el cual en 1865 comenzó a desarrollar su teoría estructural del benceno, para la que propuso la forma de un anillo hexagonal con seis átomos de carbono interrelacionados y unidos a átomos de hidrógeno; también desarrolló Faraday, en 1823, métodos para licuar gases, sometiéndolos a presión). Durante los años que siguieron a los trabajos de Nicholson y Carlisle, se explotó la técnica electroquímica para investigar cuáles eran los elementos químicos básicos, con el resultado de que se produjo un aumento sustancial del número de elementos conocidos (a finales del siglo XVIII sólo se conocían 33). Entre 1801 y 1828, el sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) aisló el cerio, el selenio, el silicio, el circonio y el torio; por su parte, en Inglaterra Humphry Davy (que también ha aparecido en el capítulo precedente), el maestro-patrón de Faraday, encontró, en 1808 y 1809, el sodio, el potasio, el estroncio, el boro, el calcio y el magnesio, en 1810 el cloro, en 1812 el yodo y el bromo en 1826. Pronto la química orgánica se uniría a la electricidad para añadir al conocimiento fundamental la

aplicabilidad práctica, con lo que se abría el camino para que física y química ampliasen radicalmente su implantación social; para que se *institucionalizasen*.

En el presente capítulo, y con el fin de poder entender mejor el núcleo de este libro —la historia social, política y económica de la ciencia de los siglos XIX y XX—, me ocuparé de cómo fue progresando a lo largo del siglo XIX esa institucionalización de la química y la física, que fueron, de entre todas las ciencias naturales, las primeras en experimentar semejante proceso de consolidación social, no importa que otras (como la geología o la matemática) contasen desde hacía mucho con sociedades profesionales, cátedras universitarias y puestos en academias. Habida cuenta de que es posible mantener cierta continuidad, mi narración se extenderá en realidad hasta los alrededores de 1914, el año en que comenzó la Primera Guerra Mundial, aunque el núcleo sea en este capítulo el siglo XIX. Al igual que en la casi totalidad de este libro, básicamente me ocuparé de cuatro naciones: Francia, Alemania, Gran Bretaña y Estados Unidos, con mención, al final, del caso español. Veremos que al comenzar la nueva centuria, el siglo XX, las ciencias físico-químicas habían avanzado, institucionalmente hablando, bastante. Cometeríamos, no obstante, un grave error si pensásemos, extremando nuestro celo socioeconómico, que el que se crearan nuevas cátedras y laboratorios (incluso laboratorios *nacionales*), aumentara el número de estudiantes y profesionales de la ciencia, las industrias volviesen sus miradas hacia los últimos progresos científicos, o los ciudadanos se preocupasen por la educación científico-tecnológica que recibían sus hijos, fuera debido, única o principalmente, a decisiones políticas, a tácticas socioeconómicas cuidadosamente diseñadas por los poderes públicos. En absoluto fue así. Las ciencias físico-químicas —y dentro de ellas, esencialmente la química orgánica y la física de la electricidad— tuvieron que demostrar su utilidad para comenzar a recibir ese elusivo e interesado favor que es la atención pública. Y lo hicieron tanto a través de sus resultados como de las iniciativas de

algunos científicos; la manera, por ejemplo, en que Justus Liebig combinó enseñanza e investigación en su laboratorio de la Universidad de Giessen.

He dicho antes, «para *comenzar* a recibir», y es importante recalcar esta expresión: por muchas que fueran las mejoras sociales que el Ochocientos trajese a la actividad científica, a comienzos del siglo XX todavía quedaban innumerables recovecos dentro de todo tipo de instituciones públicas y privadas en los que la ciencia apenas era valorada. Como veremos en el capítulo 8, el comienzo de la Primera Guerra Mundial puso en evidencia, de manera dramática, algunas de esas limitaciones: la, por ejemplo, falta de atención que las fuerzas armadas habían prestado a la ciencia. Ante los graves daños producidos por los submarinos alemanes, los británicos tuvieron que improvisar mecanismos para poder utilizar los conocimientos de sus científicos. En este sentido, y aunque se pueda decir que a lo largo del siglo XIX se sembraron las semillas de una auténtica institucionalización de la actividad científica, la amplitud e intensidad con que la ciencia se insertó en la sociedad a lo largo del siglo XX fueron incomparablemente mayores que durante la centuria que la precedió.

Pero antes de entrar de lleno en las cuestiones pertinentes a este capítulo, quiero efectuar una consideración preliminar.

Preludio: la Revolución Industrial y la ciencia

La Revolución Industrial, el «proceso que permitió la explotación a gran escala de nuevas fuentes de energía»,[3] cambió el mundo. Y «cambiar el mundo» es, qué duda cabe, una muestra de poder. No faltan quienes han argumentado que los conocimientos científicos fueron muy importantes en el desarrollo de las innovaciones técnicas que la hicieron posible. En el siglo XVIII, por ejemplo, un profesor de la Universidad de Edimburgo, John Robinson, llegó a extender el mito de que Thomas Newcomen (1663-1729), que diseñó

la primera máquina de vapor que funcionaba (se instaló en una mina de Dudley Castle, Staffordshire, en 1712), había sido instruido por Robert Hooke (1635-1702), uno de los protagonistas de la Revolución Científica que dio origen, durante los siglos XVI y XVII, a la ciencia moderna.[4] Y también que James Watt (1736-1819), el personaje más importante de la Revolución Industrial, había aplicado la teoría del calor latente de Joseph Black (1728-1799) para llegar a una de las piezas centrales de su máquina de vapor: un condensador aislado.[5] Sin embargo, nada de esto es cierto. Newcomen era un artesano con pocos o ningún conocimientos científicos. Y Wattt era un constructor de instrumentos que fue llamado por el profesor de Filosofía Natural de la Universidad de Glasgow, John Anderson, para que reparase una máquina de vapor de Newcomen que po seía la universidad, dándose cuenta entonces (hacia 1765) que podía reducir las grandes pérdidas de energía que se pro du cían introduciendo una serie de mejoras entre las que figuraban las de aislar la caldera y tubos de vapor y hacer que la condensación se realizase en una cámara separada que se conectaba al cilindro de la máquina.

Como ha señalado Ian McNeill en una masiva historia de la tecnología que él mismo dirigió:[6] «La ciencia y los científicos tuvieron poca influencia directa o indirecta en el de sa rro llo inicial de la máquina de vapor». De hecho, el primer análisis científico de las operaciones que te nían lugar en la máquina de vapor lo efectuó el ingeniero y científico francés Sadi Carnot (1796-1832), en un breve ensayo (el único que publicó a lo largo de su corta vida: murió víctima de una epidemia de cólera que se declaró en París) publicado en 1824: *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à developper cette puissance* (*Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*). Por otra parte, algunas de las mejoras introducidas por Watt no pudieron ser estudiadas desde un punto de vista científico riguroso hasta el último cuarto del siglo XIX.

Si señalo todo esto es para justificar la ausencia en este capítulo (y en el conjunto del libro) de la Revolución

Industrial. Sé muy bien de su importancia (ya he dicho que «cambió el mundo»); que a partir de la utilización comercial de la máquina de Watt, que empezó después de 1785 y en mayor medida después de 1820, estos cada vez más grandes y poderosos instrumentos se extendieron en, fundamentalmente, las actividades metalúrgicas y textiles, así como en las minas de carbón y el transporte por superficie, actividades todas íntimamente ligadas al profundo cambio industrial y económico, y por consiguiente social, que tuvo lugar durante el Ochocientos. Y que esa difusión se produjo en primer lugar en los países de los que me ocupo sobre todo en este libro: Gran Bretaña, en primer lugar (no en vano fue la cuna de Newcomen y Watt), Alemania, Estados Unidos y Francia (también Bélgica), naciones en las que estaba bien instalada hacia 1850.

Podría argumentarse, con justicia, que de manera explícita o implícita, uno de los objetivos de este libro es también ahondar en la relación entre ciencia y tecnología. Es cierto, y de hecho uno de mis argumentos es que la tecnología es un elemento fundamental en el desarrollo científico; que no es verdad, o no siempre es verdad, que primero está la ciencia «pura» que al aplicarse después (ciencia «aplicada») se convierte en tecnología. Ahora bien, el caso de la Revolución Industrial me plantea varios problemas. En primer lugar, que sus orígenes y primeros desarrollos tuvieron lugar en el siglo XVIII, del que no trato en este libro. En segundo lugar, que su relación con la ciencia y los científicos no fue tan, digamos, intensa, rápida y productiva (salvo a largo plazo) como sucedió en el caso —que estudio en este mismo capítulo— de la física del electromagnetismo y las comunicaciones basadas en la electricidad (telegrafía, telefonía, radio). Por último, y aunque no es lo principal, entrar en este tema me llevaría demasiado lejos, rompiendo tal vez la dinámica y argumentaciones históricas que pretendo desarrollar en esta obra. Por todos estos motivos, y no sin algún dolor, aunque también sin remordimiento, no incluyo la Revolución

Industrial aquí.

El poder científico francés y su declive

Al estudiar la historia de la ciencia en su conjunto, se constata que cuando comenzaba el siglo XIX, la ciencia francesa se hallaba en una posición de privilegio (algo de ello vimos en el capítulo precedente), que iría perdiendo según avanzaba la centuria, especialmente con relación a Alemania. Este cambio se puede apreciar en la física al igual que en la química. En esta última disciplina, por ejemplo, en enero de 1823 Justus Liebig escribía desde París —adonde se había trasladado procedente de Erlangen para estudiar junto a Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) — que «no existe territorio en el que las ciencias naturales florezcan más de lo que lo hacen aquí, y en donde se involucren más en la vida práctica».7 Todavía en 1845, esta vez en el campo de la física, el joven William Thomson (futuro Lord Kelvin), recién graduado en Cambridge, no encontró mejor sitio en donde ampliar estudios que en el París de Liouville, Cauchy, Regnault, Arago, Fizeau, Biot y Foucault. Satisfecho de su elección, el 5 de marzo escribía a su hermano Robert:8

> El lunes Biot me presentó a [Henri Victor] Regnault [(1810-1878), famoso catedrático de Filosofía de la Naturaleza —esto es, de física— del Collège de France], quien me dijo que fuese a verle cualquier día al final de alguna de sus clases, y que me enseñaría su *cabinet de physique*. Fui ayer... y vi una gran cantidad de cosas espléndidas, de las que aquí hay una gran abundancia, ya que el gobierno les da mucho dinero para aparatos destinados a experimentos populares e ilustraciones históricas en sus clases.

La potencia científica francesa a comienzos del siglo XIX se puede determinar también utilizando otros instrumentos, de naturaleza más cuantitativa. Consideremos, por ejemplo, los *Annalen der Physik und Chemie*, la revista germana fundada en 1790 (con el título, luego modificado, de

Journal der Physik) por el profesor de la Universidad de Halle, F. A. C. Gren, y que alcanzaría su máximo esplendor bajo la dirección de Johann Christian Poggendorff. Siguiendo una costumbre bastante extendida por entonces, en los *Annalen* se daba entrada a traducciones de artículos extranjeros que se consideraban de interés especial. Así, durante el período 1840-1845, 361 páginas de la revista estuvieron dedicadas a artículos del físico francés Henri Victor Regnault, el mismo cuyo laboratorio visitó William Thomson; tras él figuraban el austríaco K. W. Knochenhauer con 229 páginas, Faraday con 214, el belga J. A. F. Plateau con 145, el suizo Auguste de La Rive con 142 y el italiano Macedonio Melloni con 136.9 En 1874, el líder en número de páginas (acumuladas) era Faraday, irresistible con sus investigaciones experimentales en electricidad, magnetismo y química, con 1.617 páginas, el equivalente a casi tres volúmenes de los *Annalen*. Pero la cuenta particular de los físicos franceses no era en absoluto despreciable: 696 páginas para Regnault y no muchas menos para Arago, Antoine-César Becquerel, Biot, Fresnel y de La Rive. Por el contrario, en la década de 1830 la física alemana no era especialmente valorada en Francia: los artículos de físicos alemanes publicados en los *Comptes Rendus* y en los *Annales de Chimie et Physique* estaban en torno a la docena (sus autores: Gauss, Magnus, Riess, Poggendorff, Reich, Muncke, Pfaff y Karsten). El *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* no publicó ningún trabajo de física matemática de autor alemán en los años que siguieron a la creación de la revista por Joseph Liouville en 1836. No sería hasta la década de 1850 cuando la situación se invertiría.

En Gran Bretaña la situación era análoga; muy pocos trabajos de físicos alemanes aparecieron en las décadas de 1830 y 1840 en publicaciones como el *Philosophical Magazine* o el *Edinburgh New Philosophical Journal;* sí, no obstante, en las *Scientific Memoirs* de Taylor (donde nos encontramos con cierta frecuencia a Ohm, Gauss y Wilhelm Weber).

Ante estos datos, surge, inevitable, la pregunta: ¿por

qué Francia se vio superada, científica e industrialmente, por otras naciones; por Alemania (en la segunda mitad del siglo XIX), sobre todo, y más tarde también claramente por Estados Unidos? Es ésta una pregunta difícil, pero intentaré ofrecer algunas ideas que ayuden si no a responderla en su totalidad, sí al menos de manera parcial.[10]

En bastantes aspectos, Francia fue una adelantada en lo que a la institucionalización de la ciencia se refiere. Debido a que sus gobernantes estaban interesados en una buena Administración y preocupados por la defensa, a lo largo del siglo XVIII se crearon una serie de centros educativos de alto nivel científico y técnico: la École des Ponts et Chaussées (1715), la École Royale du Génie (1748), la École des Mines (1783) y, en tiempos de la Revolución Francesa, la École Polytechnique (1794), institución que ya nos apareció en el capítulo anterior. Gracias a estas escuelas, que adquirieron un gran prestigio, y al apoyo que recibían del Estado, Francia disfrutó de una prominencia científica mundial entre, aproximadamente, 1750 y 1840 (tampoco hay que olvidar a la vieja —se había fundado en 1666— Académie des Sciences, mucho más activa que las correspondientes corporaciones de otras naciones). Ni siquiera las profundas rupturas sociales y políticas producidas por la Revolución Francesa de 1789, rupturas que se llevaron consigo a más de un científico, al gran Lavoisier entre ellos, significaron a la postre un retroceso de la ciencia gala: entre los credos revolucionarios figuraba la fe en la racionalidad de la ciencia y lo que ésta podía aportar al bienestar de los pueblos. Recordemos, en este sentido, que uno de los más ambiciosos y nobles proyectos (aludí a él en el capítulo anterior) asumidos por la Revolución Francesa se basaba en la ciencia: el proyecto de medir, mediante triangulaciones, el arco de meridiano terrestre comprendido entre Dunkerke y Barcelona. Con los resultados de esa medida, se establecería, como parte destacada de la gigantesca empresa de implantar el Sistema Métrico Decimal, una nueva medida de longitud universal, el metro, definido como la diezmillonésima parte de la distancia entre el polo

norte y el ecuador. Ninguna empresa podía ser más apropiada para los revolucionarios franceses, ya que de lo que se trataba era de abolir una barrera que impedía una relación entre los ciudadanos libre y racional, fuente de todo tipo de abusos: la diversidad de unidades de pesos y medidas existente en el siglo XVIII era abrumadora (todavía perdura aquella pluralidad, aquel caos, en todos los idiomas); se utilizaban, por ejemplo, barricas, fanegas (de muy diversos tipos: de huerta, de secano de primera, segunda o tercera), moyos, espuertas, jarras, ferrados, pasmos, arrobas, galones, escudillas, pértigas cuadradas, cuarteras, libras, onzas, dracmas, escrúpulos, toesas, pies (bien del Perú, del Franco Condado, de Maine, de Perche, de Burdeos o del rey, que a su vez podía referirse al rey de Filicteras, de Macedonia o de Polonia), codos, pulgadas, leguas..., en fin, un caos absoluto. El 15 de marzo de 1790, se suprimieron los derechos feudales referentes a los pesos y medidas y Charles-Maurice de Talleyrand presentó una proposición de reforma,[11] que tomó con mayor rotundidad el 6 de mayo Bureaux de Pussy, cuyas hermosas palabras en la Asamblea todavía resuenan a través del espacio y el tiempo: «La diversidad gótica de nuestras medidas se ha perpetuado, convierte en extranjeras, las unas con respecto a las otras, a las Provincias de un mismo imperio, las Villas y las Aldeas de una misma Provincia, algunas veces hasta a los diferentes barrios de una misma Ciudad; y en la Era de Luces, todavía nos encontramos gobernados por instituciones absurdas, humillantes, contra las que nuestros antepasados ya habían comenzado a rugir en siglos de ignorancia y tosquedad». Dos días más tarde, la Asamblea encargaba la reforma métrica a la Academia de Ciencias, una reforma que Jean Antoine de Caritat, marqués de Condorcet, poco después víctima él mismo —como Lavoisier— del Terror, dedicó *«À tous les temps, à tous les peuples»*; «A todos los tiempos, a todos los pueblos».[12]

Regresando a la historia de la pérdida de poder científico gala, tenemos que, a pesar de todo, a partir de mediados de siglo Francia comenzó a abandonar su

posición de privilegio, en parte porque sus instituciones científicas, que en 1800 se encontraban en la avanzadilla de la cultura científica y tecnológica, en 1850 eran ya mucho más anacrónicas. Esto no quiere decir, naturalmente, que Francia no continuase siendo una de las naciones líderes en la ciencia mundial; pocos países podían presumir de una constelación parecida de instituciones: la Sorbona, la École Normale Supérieure, el Collège de France, la École Centrale des Arts et Manufactures, el Muséum d'Histoire Naturelle, el Observatoire, y toda una gama de instituciones técnicas.[13] O de científicos como (citando algunos que trabajaron entre, aproximadamente, 1870 y 1930) Henri Poincaré, Henri Becquerel, Marie y Pierre Curie, Paul Langevin, Victor Grignard, Joseph Boussinesq, Jean Perrin, Aimé Cotton, Paul Sabatier, Paul Painlevé, Henri Moissan, Gabriel Lippmann, Louis y Maurice de Broglie, Charles Fabry y Léon Brillouin. En definitiva, a pesar del hecho del anacronismo de sus instituciones científicas, no parece que ésta sea una respuesta suficiente a la pregunta del porqué de la decadencia científica francesa. Es preciso buscar otras causas.

El intenso centralismo administrativo francés, particularmente notorio en el sistema educativo superior,[14] figura entre los males más fácilmente identificables de la ciencia francesa. París era (y continuó siendo) el centro incontestable de la nación, incluida su ciencia. Es difícil imaginar que en Francia ocurriese algo parecido a lo que sucedió en Alemania, donde, como veremos, Liebig estableció una escuela de investigación en química orgánica en la pequeña ciudad provinciana de Giessen, que llegaría a convertirse en el modelo del que desciende el laboratorio universitario de investigación y enseñanza al que estamos acostumbrados. En Francia, las provincias tardaron mucho más en incorporarse de manera efectiva al desarrollo científico-tecnológico, y cuando lo hicieron predominó, con mucho, la tecnología. Este retraso pudo ser decisivo para la competencia industrial con otras naciones, y como «retraso científico» y «retraso tecnológico/industrial» están, en

general, relacionados (en ambos sentidos), los efectos de la inferioridad tecnológica se pudieron sentir también en el mundo científico.

Estimuladas por industriales locales, que necesitaban expertos en tecnología y agricultura científica, las facultades provincianas galas aprovecharon una ley promulgada en 1885 que les permitía aceptar donativos, para establecer cátedras y cursos de ciencia aplicada. Este movimiento continuó en la última década del siglo y primeras décadas del XX, con la creación de los Instituts Annexes des sciences appliquées, que estaban ligados financiera y administrativamente a las Facultades de Ciencias. Los primeros Instituts Annexes abrieron sus puertas en torno a 1890; por ejemplo, el Institut de Chimie de Bordeaux (1891) y la École de Brasserie et de Malterie (Cervecería y Malteado) de Nancy (1893). La mayoría de ellos, sin embargo, se establecieron después de 1900: el Institut Electrotéchnique de Grenoble (1901), el Institut de Chimie de Montpellier (1908) y el Institut de Chimie de Besançon (1920).15

La naturaleza y el prestigio de las *grandes écoles* tradicionales probablemente aportó más obstáculos que beneficios, ya que conservaron demasiado del espíritu del siglo que las vio nacer, el XVIII; sus graduados construían y vigilaban las minas, puentes, carreteras, instalaciones militares y monopolios estatales de la nación, pero descuidaban el desarrollo de las ciencias aplicadas, que en el siglo XIX constituían con frecuencia una vía para contribuir a la propia ciencia, y desde luego un factor importante para su avance e institucionalización (menos del 1 por 100 de los graduados de estas escuelas llegaron a ser científicos, mientras que el 80 por 100 se colocaban como militares y funcionarios civiles de alto nivel en los diversos *corps d'État)*. Los *polytechniciens*, los más prestigiosos de todos los ingenieros, no comenzaron realmente a entrar en las industrias hasta 1900, y aun entonces se mostraron mal preparados, puesto que en su École campos como la teoría eléctrica o la mecánica física eran descuidados. Los

polytechniciens, en suma, se formaban para ser líderes de la nación, miembros de una élite administrativa, no para convertirse en técnicos.16 Hay que tener en cuenta además que, como ha señalado Terry Shinn,17 las *grandes écoles* influyeron en otras instituciones, como las «nuevas *grandes écoles*» (la École Supérieure de Physique et de Chimie y la École Supérieure d'Eléctricité) y las «*grandes écoles* menores» (por ejemplo, el Institut Électrotechnique de Grenoble y el Institut Chimique de Nancy), que al tratar de imitar a las *grandes* y ascender en la jerarquía social, comenzaron a adoptar los mismos vicios que éstas (se dio mayor espacio a la matemática, que pasaba a convertirse casi en un fin en sí misma; disminuyó el tiempo dedicado a los laboratorios; aumentó el conocimiento en detrimento de la habilidad, y se implantó el dominio del discurso, esto es, la retórica).

Por último, entre las causas posibles que expliquen —*desde la ciencia y la educación*— el retraso sufrido por la ciencia francesa durante el siglo XIX con respecto a la alemana, hay que referirse al escaso papel que desempeñaba la investigación en las universidades. De entrada es preciso recordar que durante más de una década después de que las universidades fuesen disueltas en 1793, en pleno período revolucionario, la enseñanza avanzada en ciencia y matemáticas tuvo lugar en las escuelas profesionales, como la École des Mines, la École des Ponts et Chaussées, la École Polytechnique y la École Normale Supérieure, algo que no favoreció a la institucionalización de la ciencia en las universidades, uno de los hogares naturales de la ciencia. Cuando fueron restablecidas las diez Facultades de Ciencias originales, a las que se unieron otras cinco más en 1854, éstas estaban formadas en realidad por pequeños grupos de profesores, procedentes frecuentemente de liceos, más preocupados por cuestiones administrativas que por investigar. París era, en general, una excepción. Ahora bien, aunque algunos la practicasen y creciese lentamente, la investigación no desempeñó inicialmente un papel central en la universidad, no hasta las reformas de la

década de 1860, que institucionalizó y legitimizó la investigación con la creación, en 1868, de la École Pratique des Hautes Études.

Alrededor de 1875 la investigación comenzó a aumentar notablemente en las universidades (entre 1891 y 1895, por ejemplo, el profesorado universitario publicó 83 libros y 3.451 artículos de ciencia fundamental, y 53 libros y 217 artículos de ciencia aplicada; entre 1861 y 1865 se alcanzó el mínimo de 7 libros y 174 artículos de ciencia básica, así como ningún libro y 28 artículos de ciencia aplicada).[18] También hay que mencionar la creación de sociedades científicas no estatales que fomentaban la investigación, dentro y fuera de las facultades: en 1857 se fundó la Société Chimique de París, en 1864 la Association Scientifique, en 1872 la Association Française pour l'Avancement des Sciences y en 1873 la Société Mathématique de France y la Société Française de Physique.

He mencionado la Association Française pour l'Avancement des Sciences (Asociación Francesa para el Avance de las Ciencias); es interesante detenerse un momento en este tipo de asociación, que se extendió por una buena parte del mundo a lo largo del siglo XIX, ya que constituye un magnífico ejemplo de cómo la ciencia fue adquiriendo popularidad y ampliando sus relaciones internas (entre los propios científicos) y externas (ciencia-sociedad). La Asociación francesa no fue ni la única, ni la primera: en 1822 se había establecido la alemana, que determinaría el modelo que habría que seguir en el futuro, la Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, fundada en Leipzig a instancias sobre todo del biólogo Lorenz Oken (aquí tenemos una muestra más —y temprana— del dinamismo que caracterizó a la ciencia germana del siglo XIX); en 1831 siguió la British Association for the Advancement of Science; en 1848 el modelo atravesó el Atlántico, creándose la American Association for the Advancement of Science, que siguió muy de cerca la reglamentación de la británica; ya más tarde aparecieron

otras, como la Società Italiana per il Progresso delle Scienze (1907) o la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias (1908). Además de servir para presentar resultados científicos o elaborar panorámicas informativas destinadas a colegas de otros campos, cuando no simplemente para consumo de interesados, algunas de estas sociedades (en especial la británica) formaban comités que estudiaban temas concretos (las constantes físicas, por ejemplo), con lo que servían de manera destacada a la ciencia nacional e internacional. Un rasgo prácticamente común a todas ellas es que fueron utilizadas con frecuencia como tribunas para reclamar atención y medios para la investigación científica.19

La química y la industria de los tintes artificiales

Cuando se intenta reconstruir la historia de la química de la segunda mitad del siglo XIX enseguida se encuentra que es imposible no tratar, como uno de los capítulos destacados de esa historia, la aportación de la ciencia de Lavoisier a la industria de los tintes.

Los primeros tintes, conocidos de antiguo, se preparaban utilizando sustancias naturales, como plantas, insectos, conchas de moluscos o sales inorgánicas. Ejemplos bien conocidos son el índigo (o añil) de color azul oscuro, extraído de la planta del mismo nombre (índigo) procedente de la India, la alizarina y la púrpura de Tiro, que se extraía de un molusco, el múrex.20 Era, como se puede imaginar, una industria establecida pero limitada, pero esto cambió gracias a la química.

Para mis propósitos aquí, la historia tiene como protagonista principal a un inglés: William Henry Perkin (1836-1907), un discípulo del químico alemán Augustus Wilhelm Hofmann (1818-1892), a su vez un antiguo estudiante de Justus Liebig que había sido requerido (se encontraba trabajando en Bonn) por Londres para dirigir el recientemente establecido (1845) Royal College of Chemistry. Perkin se incorporó al College en 1853. Por

entonces, las calles de Londres, al igual que las de otras capitales, se iluminaban con gas obtenido de la destilación del carbón. La demanda de éste crecía continuamente, circunstancia que originaba algunos problemas importantes. La destilación de los millones de toneladas de carbón destinadas a producir el gas generaba algunos productos inútiles y peligrosos, compuestos de azufre y alquitrán aceitoso entre ellos, que arrojados a los ríos los contaminaban. Estudiando cómo liberarse de estos y otros productos derivados del uso del carbón, sustancia reina de la Revolución Industrial, los químicos descubrieron que destilando una y otra vez el alquitrán de hulla se obtenían todo tipo de productos; unos, ligeros, sin aplicación aparente; otros que servían para impregnar maderas y traviesas de ferrocarriles; también, una sustancia blanca (la naftalina) y antraceno. Pero en la retorta quedaba aún un residuo, la brea, la cual recibió una excelente aplicación: permitía preparar combustibles mezclándola con polvo de carbón. Todo esto llevó a construir fábricas para la destilación de alquitrán, lo que a su vez impulsó aún más investigaciones destinadas a explorar aquel mundo químico.21

Otro de los elementos que componen la presente historia es el deseo, nada extravagante para un químico, de Hofmann de mostrar el poder de la química en la síntesis artificial de sustancias naturales, un deseo que de hecho aparecía incluido en el informe anual del Royal College of Chemistry preparado por el propio Hofmann como una de las tareas que había que perseguir. Una de las sustancias naturales que el químico alemán deseaba producir en el laboratorio era la quinina, entonces el único tratamiento eficaz contra el paludismo, o malaria (término proveniente de «mal aire» en italiano), enfermedad que afectaba seriamente no sólo a habitantes de Asia y África, sino también a los de Francia, España, Holanda, Italia, Rusia, por citar algunos países europeos.22

Hofmann observó que entre los derivados del gas de hulla abundaba un hidrocarburo, la nafta, de la que con

cierta facilidad se podía obtener un alcaloide cristalino, la naftalidina, cuya composición no era demasiado diferente de la de la quinina: aparentemente sólo difería de ésta en algunos átomos de hidrógeno y oxígeno, esto es, en básicamente agua. «No podemos, claro, esperar que se inducirá al agua a entrar [en la naftalidina] tan sólo poniéndola en contacto», escribió Hofmann en 1847, «pero un experimento feliz puede conseguir ese fin mediante el descubrimiento de un proceso metamórfico apropiado».[23]

Tal fue la tarea que una década después se planteó Perkin una vez convertido en ayudante de Hofmann. Basándose en la fórmula aproximada de la quinina ($C_{20}H_{24}N_2O_2$), Perkin razonó que oxidando aliltoluidina ($C_{10}H_{13}N$) obtendría la sustancia deseada. Se equivocó: lo que obtuvo fue un depósito negro con tintes rojizos. Pero lavando con alcohol el matraz que contenía aquel depósito se encontró, fortuitamente, con una sustancia de color violeta, que denominó inicialmente «púrpura de Tiro», el nombre del color más apreciado entonces, para elevar su valor, y que posteriormente se denominaría malva, por su semejanza con el color de las corolas de la flor de malva. Enseguida, Perkin descubrió que la nueva sustancia era capaz de teñir tejidos de seda, lo que le condujo a solicitar una patente para el procedimiento que había utilizado, patente que obtuvo el 26 de agosto de 1856.[24] Estaba claro que Perkin pensó inmediatamente en beneficiarse económicamente de su hallazgo, fabricando comercialmente el nuevo tinte artificial malva, lo que le llevó, en contra de la opinión de Hofmann, a abandonar el Royal College of Chemistry e introducirse en la industria de tintes con la ayuda de su padre, un constructor jubilado, y de su hermano. Aunque otros químicos antes que Perkin se habían adentrado ya en el mundo de la industria de los tintes, lo cierto es que fue con su comercialización del malva, en un momento en el que, técnicamente, las plantas de estampación y tinción de Gran Bretaña habían alcanzado un nivel adecuado para su explotación, cuando esa industria comenzó a consolidarse, una circunstancia ésta

que a su vez fomentó la investigación y la enseñanza superior de la química. Hasta entonces, ciertamente durante el primer tercio del siglo XIX, la industria química había estado dominada por la necesidad de fabricar productos químicos básicos para el jabón, vidrio y otros productos simples. Asimismo, para las industrias textiles se fabricaban lejía y mordientes, para lo cual se necesitaban grandes cantidades de sosa y de ácidos comunes. Gran Bretaña, Francia, Bélgica y Renania dominaban este mercado.[25]

Francia y los tintes

Llegados a este punto, regresemos al caso francés y veamos si la situación de la industria de los tintes gala nos enseña algo sobre su decadencia científica con respecto a otras naciones.[26] Una de las ideas que hay que explorar es que si descubrimos problemas en la competitividad internacional de esa industria, tendremos un elemento que nos ayude a comprender su retraso científico, ya que, como veremos con más detalle después, la industria de los colorantes artificiales significó una ayuda notable para el desarrollo e institucionalización de la química.

Inicialmente, sin embargo, los franceses se sumaron con prontitud y eficacia al nuevo mundo científico-tecnológico-comercial: en 1859, por ejemplo, una firma de los alrededores de Lyon comenzó a producir un nuevo tinte derivado de la anilina, que denominaron fucsia (como la planta procedente de América del Sur), aunque en otros lugares se conoció como magenta. El nuevo colorante se hizo muy popular, compitiendo muy eficazmente con el malva de Perkin. Alerta en la búsqueda de beneficios, la industria europea se adentró en el nuevo dominio de los colorantes artificiales: en 1862, 29 compañías europeas, la mayoría británicas y francesas, ofrecían más de una docena de tintes para cuya obtención se utilizan productos derivados del alquitrán de hulla. Pronto, no obstante, Francia vio cómo disminuía notablemente su capacidad industrial en este campo, y también, pero algo menos, la de

los británicos, mientras que surgía, poderosa, Alemania. Si consideramos la producción (en millones de francos franceses), en 1876 y 1881, encontramos datos reveladores:

	1876	*1881*
Alemania	530,50	30,50
Francia	475	7
Gran Bretaña	191	9
Suiza	7	

Dejando de lado por el momento la cuestión del por qué del ascenso alemán, ¿cuáles fueron las razones del declive galo? ¿Tuvo que ver con las características, a las que ya aludí, de su sistema educativo superior? En una época en la que la industria se basaba cada vez más en la ciencia, ¿abrió aquélla sus puertas a la innovación, a los científicos formados en los centros de educación superior? Porque por mucho que el ideal estudiantil francés fuese el de arrimarse al cálido hogar de *los corps d'État* o del ejército, es difícil creer que no existiesen algunos jóvenes emprendedores, incluso aunque no fuesen los más capaces, que no estuviesen dispuestos a entrar en las industrias. Además, tampoco eran tantos los que podían aspirar a incorporarse a los cuerpos de la alta administración del Estado: el número de estudiantes que salía cada año de la École Polytechnique era importante, pero en absoluto desmesurado, 250 (en la École Normale Supérieure era mucho menor). Por otra parte, también existían profesores alemanes que miraban con desdén la ciencia aplicada, y ello no impidió que la industria germana dependiente del conocimiento científico floreciese. Tal vez, en realidad el número de jóvenes que se apartaron de una carrera en la industria por prejuicios culturales como los que señalé antes fuese demasiado pequeño como para ser algo más que *un* factor en la explicación del retraso. Acaso haya que mirar más la propia industria francesa (que se basaba fuertemente en la ciencia), y las condiciones sociales, políticas y económicas en las que ésta se desenvolvió, para explicar el retraso tecnológico y científico francés.

Desde 1856, el año del descubrimiento de Perkin, hasta la guerra franco-prusiana de 1870-1871 los tintes desarrollados por los franceses bastaron para el crecimiento experimentado por el mercado. A partir de aquel momento, cuando la industria de los colorantes entraba en una nueva etapa, más profesional y avanzada, la industria francesa comenzó a retroceder de manera dramática (recordemos la tabla presentada antes). En 1876, solamente siete años después de que los químicos alemanes Carl Graebe y Carl Liebermann hubiesen patentado su síntesis de la alizarina (que la Badische Anilin-und Soda-Fabrik comenzó a producir inmediatamente), Alemania podía presumir de contar con una docena de factorías en las que se producía este nuevo colorante. Por el contrario, Francia solamente tenía una factoría, y bastante pequeña. Y para que nos hagamos una idea del mercado, recordemos que en diez años las industrias textiles británicas aumentaron en más de cincuenta veces la utilización de alizarina.

¿Por qué se produjo esta divergencia? En parte por las diferencias en los sistemas de patentes francés y alemán. Graebe y Liebermann fueron capaces de proteger su descubrimiento en Francia durante quince años. Pero es evidente que empresas galas podrían haber adquirido los derechos y producir el tinte. Ahora bien, la derrota francesa en 1871 ante Prusia, que causó el final del Segundo Imperio, significó la pérdida de Alsacia. Esta pérdida fue grave para la producción de la alizarina, un colorante especialmente adecuado para utilizar con el algodón: cuando un tercio de la capacidad de producción de algodón en Francia fue cedido a Alemania, el mercado de tintes disminuyó.

Lo dicho hasta el momento es completamente coherente con la caracterización realizada por el historiador N. J. G. Pounds, cuando escribe:27 «Francia, que al principio había estado a la cabeza del desarrollo de la industria moderna, inició un declive, aunque fuera relativo, consecuencia, en parte, de decisiones legales referentes a las patentes industriales, y en parte a las ventajas naturales

de que gozaban sus competidores. El papel puntero pasó a Suiza, que heredó una parte de las capacidades industriales de Francia, y a Alemania». De Alemania me ocuparé, pero Suiza queda fuera de los protagonistas del presente libro.

Continuando avanzando en el tiempo, tenemos que en 1884, la patente de Graebe y Liebermann expiró. Ahora no existía ningún obstáculo para que los franceses fabricasen la alizarina, pero el único intento realizado en este sentido (por el mayor productor de colorantes francés, la Société Anonyme des Matières Colorantes et Produits Chimiques de Saint-Denis) fracasó. La razón de este fracaso se encuentra en que los alemanes, aprovechándose de los efectos que tuvo para la economía gala la crisis de 1882, que redujo aún más el mercado, manipularon los precios para perjudicar a Saint-Denis, y lo hicieron tan bien que tuvieron éxito.[28] Como vemos, las razones políticas y económicas predominaron en esta historia, relegando, al menos aparentemente, las razones científicas y técnicas a una posición secundaria. Ello no quiere decir, por supuesto, que no debamos tenerlas también en cuenta; al fin y al cabo, fueron químicos alemanes los primeros en sintetizar la alizarina. Pero en la complicada historia del desarrollo científico, en el que no es ni mucho menos imposible que científicos de una nación se vean superados por los de otra (y aquí es oportuno indicar que fue en Inglaterra donde Perkin dio el paso decisivo en la química e industria de los tintes), los liderazgos pueden cambiar. Desarrollo científico aparte, en la química del último tercio del siglo XIX, las condiciones socio-político-económicas eran importantes, y en este campo Francia no se encontró siempre en la mejor de las situaciones. Si otros aspectos, como las peculiaridades de su sistema educativo, tampoco ayudaban, los problemas aumentaban. Pero dejemos a Francia y pasemos a Alemania.

La institucionalización de la ciencia alemana

No hace falta ser un experto en la historia de la ciencia

contemporánea para saber que la ciencia alemana de finales del siglo XIX y primer tercio del XX ocupó una situación de liderazgo mundial. Teniendo en cuenta esa situación de privilegio, se podría pensar que la ciencia ya estaba sólidamente introducida en, como mínimo, los centros académicos alemanes durante, digamos, la primera mitad del siglo XIX. No fue, sin embargo, éste el caso. Al iniciarse el siglo, cada una de las 18 universidades alemanas existentes poseía todavía la tradicional estructura medieval, con Facultades de Teología, Derecho, Medicina y Filosofía. La finalidad de la educación académica era la formación de teólogos y fieles servidores del Estado. Por regla general los conocimientos científicos sólo se proporcionaban en la Facultad de Filosofía, siendo las enseñanzas experimentales físico-químicas muy poco frecuentes (una de las excepciones era, por ejemplo, la Universidad de Gotinga, en la que a veces se dictaban lecciones de física completadas con demostraciones). La investigación científica propiamente dicha era tarea de las academias, entre ellas la de Berlín, que seguía el patrón francés. Habida cuenta de este hecho, es sorprendente no tanto que la investigación científica prosperase enormemente en Alemania, sino que terminase haciéndolo sobre todo en las universidades; no en laboratorios privados, como el de James Prescott Joule en Manchester, o en instituciones independientes de la universidad, como, por ejemplo, los laboratorios de la Royal Institution inglesa donde trabajaron Davy y Faraday.[29]

Veamos, muy esquemáticamente, cómo fue cambiando la situación en lo que a la institucionalización de las ciencias físico-químicas se refiere. Comenzaré considerando el caso de la química, ya que fue en esta ciencia donde primero se produjeron los cambios más significativos en esa institucionalización de la ciencia en Alemania.

La escuela de investigación química de Liebig y su papel en la institucionalización de la química[30]

La institucionalización de la ciencia depende de varios factores. En este momento me interesa recalcar dos, que pueden parecer triviales, pero que resultan ser esenciales. El primero es la existencia de científicos; sin ellos, naturalmente, es imposible pensar siquiera en dotar de medios adecuados para hacer y transmitir ciencia... y también, en ocasiones, para aplicarla (industria). Ahora bien, no basta con que en un momento determinado existan científicos; incluso aunque sean buenos, es necesario que al menos algunos sean capaces de educar a nuevos profesionales creativos; que existan escuelas en las que se combine enseñanza e investigación.[31] Sin esas escuelas, que aportan estabilidad y nuevos profesionales, sería difícil hablar de *institucionalización.* Ahora bien, en la historia de la ciencia del siglo XIX, la primera escuela verdaderamente significativa, desde el punto de vista de la institucionalización de la ciencia, fue la Justus von Liebig (1803-1873).[32]

En 1825, Liebig sucedía en la cátedra de Química de la Universidad de Giessen a Wilhelm Ludwig Zimmermann. Prácticamente al mismo tiempo que obtenía la cátedra, Liebig, hijo de un droguero, estableció, en compañía de dos colegas, el profesor de Mineralogía Franz Wernekingk y el de matemáticas Umpfenbach, un «Instituto químico-farmacéutico», para el que ya existían precedentes. La idea de que en aquel momento sólo hubiese dos instituciones de ese tipo en Alemania, y que el número de estudiantes que solicitaban matricularse en ellas —atraídos por las posibilidades laborales que ofrecían— fuese tan elevado que muchos quedaban fuera, sirvió de estímulo a los profesores, que, es de suponer, buscaban un suplemento a sus salarios, además de contribuir a la formación de profesionales relacionados con la química. Liebig y sus asociados pidieron a las autoridades universitarias que su Instituto pasase a formar parte de la universidad, pero su solicitud fue rechazada, señalándoseles que la función de una universidad era educar futuros funcionarios, no farmacéuticos, cerveceros o fabricantes de jabón. Una

respuesta muy acorde con el espíritu de la época, y que decía por sí sola mucho acerca de la situación social e institucional en que se encontraban las ciencias físico-químicas. A pesar de todo, se permitió a los tres profesores que estableciesen el Instituto como una actividad privada.

Un anuncio acerca del nuevo Instituto apareció en 1826 en el *Jahrbuch der Chemie und Physik*. En él se señalaba que el rápido crecimiento de las ciencias naturales, y especialmente de la química, hacían imposible que los farmacéuticos y técnicos relacionados con la química se pudiesen contentar con los conocimientos obtenidos a través de los medios tradicionales de enseñanza, cuando no simplemente en la botica. Se habían creado algunos institutos farmacéuticos para remediar tal carencia, pero no existía ninguno en el sur de Alemania, y por ello ofrecían un curso de un año, cuyo primer semestre incluía como asignaturas botánica, mineralogía, reactivos y análisis químico. Liebig enseñaba química experimental (sobre todo, preparación y comprobación de productos farmacéuticos). El segundo semestre consistía en matemática aplicada, física experimental y, de nuevo, análisis químico.

Hasta 1835 el Instituto tuvo, por lo que se sabe, un éxito moderado, pues recibió una media de quince estudiantes al año, de los cuales entre el 70 y el 90 por 100 estaban interesados en la farmacia y el resto en la química. El punto crucial en la historia del Instituto, al igual que en la carrera de Liebig, tuvo lugar cuando, en 1831, éste desarrolló un aparato para analizar compuestos orgánicos, que era lo suficientemente sencillo como para poder ser utilizado de manera sistemática por sus estudiantes para resolver nuevos problemas; esto es, para investigar.[33] Él mismo elucidó inmediatamente la composición de 14 alcaloides y de otros compuestos. Cuando Liebig llegó a Giessen la mayor parte de los químicos alemanes todavía se ocupaban únicamente de cuestiones relativas a la química inorgánica, aunque la orgánica ya había comenzado a atraer interés,[34] pero un problema serio era las

discrepancias entre los diferentes resultados de los análisis de compuestos orgánicos. Con el aparato de Liebig se superaba esta dificultad, lo que reforzó el interés y las posibilidades de la química orgánica. En 1835, Berzelius, el gran maestro de los antiguos métodos, escribía a Wöhler:[35] «Todos los días utilizamos el aparato de Liebig. Es espléndido. Con pequeñas modificaciones hemos llegado tan lejos que parece imposible que los resultados que se obtienen no sean correctos».

En Giessen, Liebig explotó sus nuevos métodos, pero no sólo él, también sus estudiantes. El procedimiento que siguió, una novedad entonces, fue adjudicar problemas de investigación a sus alumnos, una vez que éstos habían adquirido una formación básica. Ésta fue su gran innovación (posibilitada por sus instrumentos y métodos), el combinar enseñanza e investigación; no el hecho de que enseñase química en el laboratorio, algo que aunque no demasiado frecuente ya se hacía en otros lugares: en la École Polytechnique de París, por ejemplo, desde 1795; incluso en alguna universidad germana, en Gotinga (desde 1810), Landshut (1820) y Jena (1820).[36] El éxito de Liebig atrajo, finalmente, la ayuda de la universidad, que en 1834 aprobó una mejora de las precarias instalaciones de que disponía; el año siguiente incluía en sus presupuestos un ayudante para el maestro ya reconocido internacionalmente, ayudante que de hecho Liebig había estado pagando de su propio bolsillo durante años. El número de estudiantes también aumentó: en 1836 alcanzó los 20 por primera vez, mientras que en 1838 el número de los presentes en el laboratorio ascendía a 33, una cifra enorme para las pequeñas dimensiones del centro. Y los alumnos no sólo eran alemanes, también había extranjeros. Veamos, siguiendo a Fruton, cómo varió la matrícula a lo largo de los años:[37]

	1830-35	*1836-40*	*1841-45*	*1846-50*	*Total*
Alumnos de química	15	75	174	143	407
Alumnos de farmacia	53	63	74	62	252
Alumnos de otras materias	8	10	22	19	59
Doctorados conseguidos	10	12	49	70	141
Estuds. posdoctorales	—	5	18	6	29
Británicos	2	20	36	25	83
Estadounidenses	—	—	2	14	16
Franceses	6	9	8	4	27
Rusos	—	2	8	3	13
Suizos	1	11	11	15	38
Otras nacionalidades	1	2	9	5	17

A través de sus estudiantes, la influencia de Liebig se extendió también al mundo académico e industrial. En el primero, muchos de sus mejores alumnos (entre los que se cuentan Kekulé, Gerhardt y Wurtz) obtuvieron puestos académicos, con frecuencia apoyados por el propio Liebig. Estos nuevos profesores extendieron los métodos de enseñanza de su maestro; ya hemos visto el caso de, por ejemplo, Augustus Hofmann, que fue requerido desde Londres y que enseñó a Perkin. La agricultura también se vio influida por las enseñanzas de Liebig, especialmente a través del libro que publicó en 1840: *Chemie in ihre Anwendung auf Agricultur und Physiologie* (*Química orgánica y sus aplicaciones a la agricultura y a la fisiología*), en el que, entre otros temas, se analizaba el papel del carbono en la nutrición de las plantas.[38]

Como ejemplo del tipo de explicaciones que manejaba en sus escritos Liebig, citaré a continuación unos pasajes de una versión inglesa del libro que acabo de mencionar, en la que se lee:[39]

> No podemos suponer que una planta puede llegar a su madurez, incluso en el medio vegetal más rico, sin la presencia de materia que contenga nitrógeno, ya que sabemos que existe nitrógeno en todas las partes de la estructura vegetal. En consecuencia, la primera y más importante pregunta que hay que contestar es: ¿cómo y en qué forma suministra la naturaleza nitrógeno al albumen vegetal, y gluten a frutas y semillas?
>
> Esta pregunta es susceptible de una solución muy sencilla.
>
> Como sabemos, las plantas crecen perfectamente en carbón

> vegetal puro si al mismo tiempo se les suministra agua de lluvia. El agua de lluvia contiene nitrógeno solamente de dos formas: bien como aire atmosférico disuelto, o como amoníaco, que consiste en ese elemento [nitrógeno] y en hidrógeno. Ahora bien, el nitrógeno del aire no se puede combinar con ningún elemento excepto con el oxígeno, incluso recurriendo a los medios químicos más poderosos. No tenemos ninguna razón para creer que el nitrógeno de la atmósfera tome parte en los procesos de asimilación de plantas y animales; por el contrario, sabemos que muchas plantas emiten el nitrógeno que absorben sus raíces, bien en forma gaseosa o disuelto en agua. Por otra parte, existen numerosas pruebas que muestran que la formación en plantas de sustancias que contienen nitrógeno, tales como el gluten, tiene lugar en proporción a la cantidad de este elemento que es transportado hacia sus raíces en forma de amoníaco, derivado de la putrefacción de materia animal.

Fruto de la influencia que ejercieron las enseñanzas de Liebig fue el establecimiento de Estaciones Experimentales de Agricultura, en las que la química agrícola desempeñaba un papel importante. En 1877 existían 74 de estas estaciones en Alemania, 16 en Austria, 10 en Italia, 7 en Suecia, 3 en Rusia, el mismo número que en Bélgica y Suiza, 2 en Holanda y en Francia y 1 en Dinamarca, Estados Unidos, Escocia y España.[40]

En cuanto a la industria, ya en 1827, uno de sus alumnos, Heinrich E. Merck, fundó en Darmstadt, animado por Liebig, la Chemische Fabrik E. Merck para la producción en gran escala de productos farmacéuticos. El éxito de la empresa hizo que fuese extendiéndose, y uno de los lugares en los que se introdujo fue en Estados Unidos, de la mano de un miembro de la familia, George Merck, que se trasladó a Nueva York en 1891, estableciendo allí una tienda que suministraba productos sobre todo a los farmacéuticos de la ciudad y sus alrededores. En 1897, sus ventas alcanzaron el millón de dólares y contaba con un edificio propio de seis plantas, aunque pronto se instaló en New Jersey. Estrictamente se trataba de una nueva compañía, denominada Merck & Co., de la que la Merck alemana poseía una parte de las acciones. Esta situación se

mantuvo hasta 1917, cuando al entrar Estados Unidos en la Gran Guerra (luego Primera Guerra Mundial) el gobierno norteamericano se apropió de las acciones que poseía la firma de Darmstadt. Con la ayuda de inversores de Nueva York, George Merck compró esas acciones al gobierno, comenzando así la historia independiente de la Merck & Co. estadounidense, que con el paso del tiempo se convertiría en uno de los gigantes del mundo farmacéutico, la multinacional, como se denomina en la actualidad, Merck, Sharp & Dohme.

En 1856, otro de los antiguos estudiantes de Liebig, Ludwig Baist, estableció la Chemische Fabrik Griesheim para la producción de fertilizantes artificiales (acabamos de ver que la química agrícola fue un campo particularmente estimulado por Liebig). Otro pupilo de Liebig que se convirtió en un industrial importante fue Karl Clemm, que fundó junto con su hermano Gustav una industria dedicada inicialmente a la producción de fertilizantes artificiales. Más tarde, sin embargo, ampliaron su campo de intereses a la sosa y el ácido sulfúrico, así como a los tintes. En 1865 la compañía tomó el nombre de Badische Anilinund Soda-Fabrik (BASF), una de las grandes de la industria química mundial.[41]

Aunque me haya centrado en él, Liebig (que se trasladó a Múnich en 1852) no fue el único químico alemán importante en producir, a través de su magisterio, gran número de estudiantes hacia mediados de siglo. Friedrich Wöhler (1800-1882), catedrático de Química y Farmacia en la Facultad de Medicina de Gotinga desde 1836, y Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899), que ocupó una cátedra en Marburgo entre 1838 y 1851, antes de pasar a Breslau por un año, para acabar finalmente en Heidelberg, son también dignos de mención. Al laboratorio de Wöhler acudían entre 40 y 50 estudiantes por semestre durante el período 1843-1850 y entre 60 y 70 de 1851 a 1855, mientras que Bunsen atraía en Marburgo a unos 30, entre 1845 y 1850, y alrededor de 50 en Heidelberg. Asimismo, es representativo que en 1867, y a iniciativa precisamente de Hofmann, que

ya había presidido la British Chemical Society, se fundase una Deutsche Chemische Gesellschaft (Sociedad Alemana de Química), a la que siguió en 1877 la Verein Analytischer Chemiker (Asociación de Químicos Analíticos), que en 1896 se convertiría en la Verein Deutscher Chemiker (Asociación de Químicos Alemanes).

Liebig, Wöhler, Bunsen y sus respectivos estudiantes, al igual que otros químicos no tan conocidos, elevaron rápidamente la calidad y categoría de la química orgánica alemana que, como hemos visto a propósito de Liebig, se encontraba hacia 1820 mediatizada y limitada por profesiones más tradicionales, como la farmacéutica. Es desde esta perspectiva que debemos entender el ascenso de la química orgánica germana e internacional, un ascenso o desarrollo que se hace evidente sin más que considerar que en 1888 se conocían las fórmulas estructurales de 20.000 compuestos orgánicos, 74.000 en 1899 y cerca de 140.000 en 1910.[42] Al comenzar el último cuarto del siglo, Alemania contaba con suficientes químicos orgánicos como para sacar muy buen partido de una nueva química con grandes posibilidades prácticas: la química de los tintes. Y no sólo para beneficiarse ella sola, sino para beneficiar a otros países a los que exportó químicos, en particular a Gran Bretaña, adonde además de Hofmann se trasladaron otros como Heinrich Caro (permaneció en Inglaterra —en Manchester— entre 1859 y 1867), Carl Alexander Martius (1863-1867), Hermann Kolbe (1845-1847), Heinrich Böttinger (hasta 1866), Henry Böttinger (1870-1874), Ludwig Mond (se instaló en Northwich en 1862), el ya mencionado August Kekulé, Otto N. Witt (1875-1879 y 1880-1890) o Peter Griess (1858-1888).[43] De hecho, se ha argumentado que la industria de colorantes artificiales británica comenzó a decaer (hacia 1873) cuando la mayoría de estos alemanes regresaron a Alemania; la pérdida más importante fue la de Hofmann, que había educado a prácticamente todos los químicos británicos involucrados en la química e industria de los tintes, y que volvió a su patria en 1865 tras aceptar una atractiva oferta del

gobierno prusiano.[44] Para Hofmann, que se había trasladado, con la intervención personal del príncipe consorte Albert, a Londres en 1845 para intentar mejorar la enseñanza e investigación química en el nuevo Royal College of Chemistry, la oferta alemana significaba, por supuesto, un salario más elevado, pero había más: en Londres siempre tuvo que luchar contra todo tipo de carencias, mientras que en la Universidad de Berlín, cuyo Instituto de Química pasó a dirigir, se le ofrecían mejores instalaciones. La dinámica de la universidad alemana ya era entonces superior a la de las restantes naciones europeas, mucho más ágil; las distintas universidades, apoyadas por sus *Länder* (Estados), trataban de conseguir a los mejores profesores, llegándoles a dotar en ocasiones incluso de nuevos institutos.

En buena medida, esta dinámica que promovía la mejora de los institutos universitarios de investigación se vio favorecida por el éxito económico de la química de los colorantes. En la historia de la industria química, y probablemente en la historia de toda la ciencia directamente dependiente del conocimiento científico, la producción de tintes en Alemania figura como la primera que alcanzó proporciones gigantescas. Sólo en exportación se pasó de 58 millones de marcos en 1890, a 138 en 1902; 209 en 1912. En 1904, Estados Unidos recibía el 20,4 por 100 de esas exportaciones, Gran Bretaña el 15,5, Rusia el 10, la misma cantidad que el Imperio austrohúngaro. En 1887, citando otros datos, la industria química alemana contaba con 4.235 fábricas, en las que trabajaban 82.211 obreros. En 1896, el número de fábricas había ascendido a 6.144, y los empleados a 120.400, mientras que en 1912 las cifras eran, respectivamente, de 9.147 y 250.000, además de 50.000 químicos y auxiliares técnicos. En este último año, 1912, la mitad de la producción exportada (que superaba a la llevada a cabo por el resto del mundo: en 1913 más del 80 por 100 de la producción mundial de colorantes era alemana) correspondía a colorantes, perfumes y medicamentos, siendo los primeros, los tintes, el

principal producto exportado, por un valor total de 1.300 millones de marcos.[45]

Institucionalizar la química, y, como veremos también la física, equipar a sus profesionales de buenas instalaciones y dotaciones, resultaba un buen negocio.

Química, farmacología y fisiología

Aunque brevemente, mencionaré también cómo la química orgánica decimonónica afectó a la farmacología, aunque para ello tendré que aludir a la fisiología, una de las ciencias reinas del siglo XIX.

La farmacología se refería inicialmente, en los tiempos de la «Materia médica», al estudio de los medicamentos en todos sus aspectos, incluyendo su origen, composición, propiedades físicas y químicas, usos terapéuticos y administración. El desarrollo de la química orgánica a lo largo del siglo XIX, el hecho de que avanzasen las técnicas de análisis y se ampliase radicalmente el número de sustancias químicas cuya composición se conocía, afectó a la profesión farmacéutica: al fin y al cabo la farmacología implica el estudio de la relación, del efecto, de compuestos químicos con la materia viva. Sin embargo, la farmacología sólo se estableció como una disciplina separada, plenamente científica, reemplazando finalmente en las Facultades de Medicina a la tradicional «Materia médica», de la mano de una de las ciencias que reinaron en aquella centuria, la fisiología, la rama de la medicina que se ocupa de entender los procesos que tienen lugar en los organismos vivos utilizando la física y la química.

Un personaje importante en este sentido fue el fisiólogo francés François Magendie, considerado como el precursor de la farmacología experimental. Parte central del programa de investigación de Magendie era la acción fisiológica de drogas y venenos. Estableció, por ejemplo, que un veneno extraído de una planta de la familia *Strychnos* (que más tarde se demostró que contenía la sustancia tóxica denominada estricnina) actuaba sobre la

espina dorsal de un animal produciendo en él contracciones convulsivas, mientras que otros de sus trabajos apoyaron fuertemente la idea de que las drogas entraban en la corriente sanguínea, alcanzando el lugar en el que actuaban a través de la circulación de la sangre.

El discípulo más famoso de Magendie fue Claude Bernard, el autor de un libro inolvidable: *Introduction à l'étude de la médicine expérimentale* (*Introducción al estudio de la medicina experimental*; 1865).[46] Al igual que su maestro, Bernard colaboró destacadamente en el desarrollo tanto de la fisiología como de la farmacología, mediante, por ejemplo, sus estudios sobre la acción del curare y del monóxido de carbono, demostrando que la planta venenosa curare actuaba sobre los nervios motores, impidiéndoles estimular los músculos, y que el monóxido de carbono desplazaba al oxígeno en la combinación química de éste con la hemoglobina en la sangre.

Tenemos, en definitiva, que los esfuerzos por determinar el lugar en que actuaban medicamentos, drogas y venenos ayudaron a moldear la emergente ciencia de la farmacología experimental. O, dicho de otra forma, el establecimiento de la farmacología como una disciplina científica realmente moderna e independiente se produjo de la mano de la revolución que tuvo lugar a lo largo del siglo XIX centrada en la fisiología y en la denominada «medicina científica».

¿Qué quiere decir todo esto? Pues, entre otras posibles consecuencias, que las nuevas especialidades científicas —como la mencionada fisiología— pueden traer consigo nuevos mundos tecnológicos, a los que las industrias, y los distintos cuerpos profesionales, deberían estar alerta. De hecho, la profesión farmacéutica muestra con claridad este aspecto. ¿Cómo respondieron los farmacéuticos decimonónicos ante la «invasión» que se estaba produciendo, en lo que a fabricación de medicamentos se refiere, desde el exterior, esto es, desde profesionales —como los químicos— no farmacéuticos?

Esta historia sería larga de explicar, pero mencionaré

que, al igual que en el campo de los tintes artificiales, fue Alemania la que mejor encaró la nueva situación, integrando la producción de medicamentos en el conjunto de su industria química, lo que permitía organizar de una manera más racional y amplia (y por consiguiente rentable) esa producción. Naturalmente, esto significaba alejar, si no apartar, la producción de medicamentos de los farmacéuticos, acostumbrados desde hacía siglos al monopolio de la preparación de los productos que ellos mismos vendían en sus farmacias (en cantidades, evidentemente, reducidas, no «industriales»). Fue, en efecto, durante el siglo XIX cuando tuvo lugar la desaparición de la farmacia tradicional, la farmacia galénica, depositaria de los saberes tradicionales del farmacéutico, que manipulaba en la rebotica las sustancias que necesitaba para sus clientes. El desarrollo de la química, y la alianza de ésta con la industria alejó a los farmacéuticos del control sobre las materias primas y la fabricación, en gran escala, de los medicamentos, que pasó a manos primero de drogueros y después de fabricantes químicos. Y aquellas naciones que se resistieron a ese cambio fueron las peor paradas, tanto desde el punto de vista económico e industrial como desde el científico. España fue uno de esos países, bien por el poder, y la falta de visión de futuro, de los farmacéuticos, bien por la escasa capacidad económica e industrial del país. Es fácil detectar el lamento, el pesar o la incapacidad de afrontar el nuevo mundo tecnocientífico que se estaba abriendo a su disciplina de los farmacéuticos hispanos en la siguiente cita, extraída de un artículo publicado en 1890 en la revista profesional *La Farmacia Moderna*:[47] «Todo ha contribuido a herir de muerte aquella polifarmacia, que fue una positiva vinculación para nuestros antecesores. Las especies químicas han destronado al medicamento galénico y apenas si alguno que otro se defiende, amparándose en alguna deficiencia del análisis, subsistente aún, o tomando pretexto de cualquiera oscuridad terapéutica, más engendrada en el misterio de la fisiología, que da la constitución inmediata...

Cierto que todavía se conserva la forma galénica en nuestros códigos; pero también lo es que el industrialismo farmacéutico se desarrolla más cada día y viene apoderándose de todos los medicamentos oficinales... Es... la sencillez de la moderna materia médica, el refinamiento de la forma, la desvinculación del galenismo, la industria, en fin, que ha desmantelado nuestros laboratorios, dándonos ya, casi preparados, casi todos los medicamentos».

La producción de nuevo conocimiento científico conduce, o puede conducir, a la innovación y al desarrollo tecnológico, y con ello a la creación de riqueza, pero para acceder a esa riqueza tecnológica y económica es necesario vencer costumbres, cuando no prejuicios, firmemente arraigados en los modos de entender la realidad, incluyendo la «realidad profesional». Y éste es un comentario que sirve tanto para hace un siglo como para hoy.

La física

En las primeras décadas del XIX la posición de la física en las universidades alemanas era claramente secundaria.[48] A lo máximo que podían aspirar la gran mayoría de los catedráticos de Física alemanes era a recibir pequeñas cantidades anuales para mantener un gabinete —decir laboratorio sería decir demasiado— destinado a realizar demostraciones experimentales para los alumnos de los cursos universitarios. De hecho, en la práctica la mayoría de los profesores de física alemanes no recibían habitualmente dinero suficiente —nada en absoluto en ocasiones— de la universidad o del Estado para comprar y mantener aparatos, de manera que una gran parte de éstos se los tenían que procurar ellos mismos (en realidad se esperaba que así lo hicieran, y la colección particular de que disponía un profesor era un elemento importante para conseguir promocionarse, normalmente pasando a otra universidad). Más aún, al no disponer tampoco de

ayudantes, los mismos profesores construían a menudo sus aparatos para las demostraciones, los transportaban a y desde las aulas, acaso a través de toda la ciudad. Asimismo, debían montarlos y desmontarlos para las clases, puesto que tenían que compartir las aulas con otros profesores de distintas disciplinas, no siendo frecuente el que dispusieran de salas en la universidad para albergar sus colecciones de aparatos. Así se explican casos como los de Franz Neumann, catedrático en Königsberg, que utilizó una pequeña herencia que recibió ¡su esposa! para adquirir en 1847 una casa y ampliarla de manera que pudiese acoger en ella un laboratorio, un lugar para trabajar la madera y el vidrio, habitaciones para un telescopio, bombas de vacío y otros instrumentos, pertenecientes a él o a la universidad; o el de Gustav Magnus, vinculado a la Universidad de Berlín desde 1831, que usó su propia biblioteca y su laboratorio particular para dar clases, y permitió que algunos estudiantes se iniciasen en la investigación utilizando sus aparatos.[49]

Un índice significativo de la situación existente a mediados del siglo lo encontramos en el hecho de que por entonces el Estado prusiano se gastaba en física, en sus seis universidades, más o menos lo mismo que en el salario de Hegel (2.000 táleros).[50] Es evidente que, independientemente de cuán grande fuera la fama de Hegel, este hecho no permite explicaciones satisfactorias para el prestigio social de la física en Alemania.[51]

La situación que acabo de esbozar comenzó a cambiar durante la primera mitad del siglo, y en mucha mayor medida a lo largo de la segunda mitad, aunque en general la química iba por delante de la física. En 1845, un pequeño grupo de científicos de Berlín, Emil du Bois-Reymond, Ernst Brücke, G. Karsten, Wilhelm Beetz, Wilhelm Heintz y Hermann Knoblauch, fundaron la Physikalische Gesellschaft zu Berlin (Sociedad de Física de Berlín), que producía un «Informe» anual en el que pasaba revista a la literatura científica, el *Fortschritte der Physik*. En 1899 esta sociedad se reorganizó bajo el nombre de Deutsche Physikalische

Gesellschaft (Sociedad Alemana de Física). De los 53 miembros iniciales de la sociedad berlinesa, entre los que se encontraba el futuro líder de la industria electrotécnica Werner Siemens, se pasó a unos 520 en 1910, 660 en 1913 y 740 en 1918, de los que 250, 310 y 300, respectivamente, residían en Berlín.[52]

Evidentemente, hubo científicos que sustentaron el desarrollo que estaba experimentando la física en Alemania,[53] pero también influyó mucho una serie de circunstancias de índole socioeconómica: el desarrollo económico e industrial alemán. A comienzos de la década de los setenta la física tenía algo que la sociedad alemana necesitaba: habilidad para suministrar conocimientos teóricos y prácticos en campos como la electricidad, la óptica y la termodinámica, que eran sumamente útiles para la industria. Favorecido por el establecimiento, en 1871, del Segundo Reich, que llevó estabilidad política a los estados alemanes, hacia el último cuarto del siglo XIX estaba en marcha el desarrollo industrial alemán, con sus industrias de alta tecnología (eléctricas, químicas, ópticas, del vidrio, metalúrgicas, de instrumentos de precisión), y al contrario que en otras naciones en Alemania se estableció en muchos casos una relación bastante fluida e intensa entre ciencia e industria. Muestra de esta relación es el repentino crecimiento experimentado por los institutos de física en Alemania, que coincidió con un hecho histórico clave en la industria eléctrica, la invención de la dinamo en la década de 1860 por Siemens y otros. Como ha señalado David Cahan, «todas estas industrias eran “las hijas de la física”... [y] estaban dispuestas “a rembolsar” a su madre por sus cuidados previos. Estas industrias fueron responsables de la rápida industrialización alemana, de sacarla de la Gran Depresión de 1873-1896, y de convertirla en el principal poder económico de 1914. Fueron también la causa principal que subyació detrás del crecimiento de los institutos de física alemanes después de 1870».[54] En otras palabras, el Estado que Otto von Bismarck (1815-1898), canciller de Alemania entre 1871 y 1890, estaba intentando

construir necesitaba fomentar el desarrollo industrial, y por tanto requería un grupo numeroso de profesionales y funcionarios con formación en ciencia y tecnología. Por este motivo, estuvo dispuesto a apoyar nuevas instituciones científico-tecnológicas, dotándolas, así como a las ya existentes, con mayor generosidad de como se había hecho en el pasado. Si en 1865 Alemania disponía de unos pocos, y en buena medida anticuados, gabinetes, albergados en locales construidos para otros fines, y de un número todavía menor de laboratorios, en 1914 cada una de sus 21 universidades disponía de avanzados laboratorios en edificios cuya construcción había costado cientos de miles de marcos, y que estaban dotados con generosos presupuestos. Si en 1865 la asistencia a las clases de física raramente alcanzaba cifras superiores a los cincuenta alumnos, en 1914 los nuevos laboratorios eran capaces de instruir a cien o más estudiantes. Si con anterioridad a 1865 no existía más de un ayudante de física en ninguna universidad, en 1914 muchos institutos disponían de tres o cuatro asistentes.

Veamos cuál fue la secuencia de creación de institutos de física en Alemania:[55]

INSTITUTOS DE FÍSICA EN ALEMANIA

Instituto	*Año de Estudiantes*	*Periodo de construcción*
Berlín	1873-78	1.542.578
Bonn	1911-13	436.700
Breslau	1899-00/1	363.900
Erlangen	1892-94	211.500
Friburgo	1888-90	193.162
Giessen	1897-00	350.000
Gotinga	1903-05	429.900
Greifswald	1889-91	204.500
Halle	1887-90	296.240
Jena	1882-84	65.000
	1900-02	175.000
Kiel	1899-01	237.600
Konigsberg	1884-88	339.924
Leipzig	1873-74	151.200
	1904/5	1.363.000

Marburgo	1912-1915	419.330
Münster	1898-1901	127.400
Múnich	1893-1894	4430.000
Rostock	1909-1910	229.200
Estrasburgo	1878-1883	583.542
Tubinga	1868-1888	260.000
Wurzburgo	1878-1879	162.650

Si comparamos ahora el número de físicos universitarios existentes en distintos países en 1900, veremos también la ventajosa posición de Alemania:[56]

	Catedráticos	*Total*
Alemania	238	385
Escuelas Técnicas	46	46
Universidades	189	339
Austria-Hungría	70	70
Estados Unidos	125	325
Francia	145	245
Holanda	38	38
Imperio británico	101	401
Gran Bretaña	124	324
Colonias	27	27
Italia	78	78
Japón	14	14
Rusia	40	40
Suiza	17	17

En cuanto a gastos de laboratorio, la situación era parecida:[57]

GASTOS DE LABORATORIO EN 1900
(en miles de marcos)

	Presupuesto ordinario	*Otras fuentes*
Alemania	285	285
Escuelas Técnicas	85	85
Universidades	200	200
Austria-Hungría	155	155
Estados Unidos	390	390
Francia	250	250
Holanda	130	130
Imperio británico	275	275

Gran Bretaña	1350	
Colonias	1180	
Italia	1350	
Suiza	1360	

El Physikalisch-Technische Reichsanstalt 58

La muestra más evidente de que las ciencias físicas servían bien al bienestar de la nación alemana fue la creación, a finales de siglo, de un laboratorio nacional que combinaba intereses científicos y tecnológicos: el Physikalisch-Technische Reichsanstalt (Instituto Imperial de Física y Tecnología; PTR). Junto a la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, de la que me ocuparé en la siguiente sección, el PTR representa el primer ejemplo, todavía algo primitivo, de la *big science* (*gran ciencia*) que ha caracterizado a una parte importante de la ciencia durante el siglo XX y que volverá a aparecer en las páginas de este libro.

Werner Siemens (1816-1892), industrial, científico e inventor, que había reunido su fortuna principalmente en el campo de la industria de la electricidad, fue el principal responsable de la construcción y diseño del PTR.59 Veamos cómo se refirió en sus memorias a los motivos que le llevaron a promover la idea de un laboratorio nacional:60

> La necesidad de este Instituto que, en definitiva, sirviese no a la enseñanza sino a la investigación físico-natural, se había manifestado claramente en la Conferencia celebrada en París [en 1881] para la adopción de medidas eléctricas internacionales. En toda Alemania no se encontró un sitio adecuado para realizar los difíciles trabajos de la reproducción exacta de la unidad absoluta de resistencia de Weber. Los laboratorios de las universidades están, de acuerdo con su fin, dispuestos para la enseñanza y de hecho consagrados a ella. Cierto es que los sabios alemanes, a pesar de todo, los han utilizado en las horas de ocio que su profesión les permite, para la ejecución de sus investigaciones haciendo así una gran obra, mas, no obstante, ni los locales, ni su instalación, ni las horas libres de los sabios eran suficientes para un trabajo amplio y

fundamental. Mi propuesta de unir al Instituto proyectado para el fomento científico de la técnica, otro que sirviera exclusivamente para la investigación físico-natural encontró innegable simpatía, pero sin embargo se consideró su realización como imposible en las circunstancias reinantes. Faltaba un terreno apropiado, bastante grande y alejado de las vibraciones causadas por el tráfico de la ciudad y pareció muy difícil dar cabida en el presupuesto de Prusia a la considerable suma que requería la instalación y después conservación de semejante Instituto.

En mi testamento yo había dejado una gran cantidad para que se aplicase al fomento de la investigación físico-natural; sin embargo, hubiera sido perder un tiempo precioso hasta mi muerte, quizá todavía bastante lejana. Sobre todo, se hubiera perdido la ocasión favorable de dar vida a una gran empresa que respondía a las necesidades de la época, por la unión del Instituto proyectado para la investigación científica con el ya acordado técnicocientífico. Por eso me decidí a no esperar a mi muerte, e hice al gobierno la propuesta de poner a su disposición un gran terreno completamente adecuado para ello o el capital correspondiente para un Instituto consagrado a la investigación científica, si el Estado se encargaba de los gastos de construcción y del mantenimiento futuro del Instituto. Mi propuesta fue aceptada por el gobierno, confirmada por el Parlamento y de este modo surgió el Centro físico-técnico de Charlotemburgo que, bajo la dirección del primer físico de nuestro tiempo, el consejero secreto von Helmholtz, constituye hoy un hogar alemán para la investigación científica.

El PTR se construyó, efectivamente, en Charlotemburgo, entonces una pequeña población residencial situada a unos 3 kilómetros de la Puerta de Brandemburgo (el propio Siemens vivía allí). Esta localización no fue casual: la compañía Siemens y Halske, al igual que otras muchas del campo de la electricidad, se encontraban en Berlín. El Reich surgido en 1871 deseaba hacer de la ciudad la auténtica capital del imperio que deseaba forjar, pero en semejante imperio no podían faltar ni la ciencia ni la tecnología, por lo que dio la bienvenida al proyecto de Siemens.

En principio, el Reichsanstalt iba a ocuparse de llevar a cabo investigaciones en todo tipo de problemas físicos y

tecnológicos, además de desarrollar y comprobar instrumentos y sistemas de unidades; sin embargo, para evitar lo que se consideraba una competencia desleal, se llegó al acuerdo de limitar el rango de los trabajos que había que realizar a aquellas áreas o problemas que no compitiesen con los que se estaban estudiando en universidades, escuelas politécnicas, industria privada u otras agencias estatales. Este acuerdo significó que el nuevo Instituto se dedicaría sobre todo a la metrología (establecimiento y comprobación de unidades); como veremos, esta aparente limitación no significó que no se realizasen aportaciones a la física fundamental, y desde el punto de vista de la industria el que el nuevo organismo se centrase en la metrología, en, por ejemplo, establecer unidades precisas, era muy conveniente: la exportación se vería favorecida cuando los productos fabricados cumpliesen especificaciones técnicas comunes en cuantas más naciones mejor, para lo cual se necesitaban esos sistemas de unidades; y Alemania era una potencia industrial que quería exportar lo más posible.

El PTR comenzó a funcionar en 1887, con el gran Hermann von Helmholtz de presidente (en 1895 le sucedió Friedrich Kohlrausch). La organización del Instituto se basaba en dos secciones, una científica, que fue la primera en contar con sus propias instalaciones, y otra tecnológica, que tardó más en tener sus edificios (inicialmente ocupó once habitaciones en la Escuela Técnica de Charlotemburgo).

La Sección Científica contaba con cinco edificios (el Observatorium, para la investigación científica propiamente dicha, la residencia del presidente, Administración, un edificio especialmente preparado para experimentos magnéticos y un taller), cuya construcción y equipamiento costó la considerable suma de 959.064 marcos (el terreno, 19.800 m2, donado por Siemens —que también contribuyó en otros aspectos— estaba valorado en 566.157 marcos; poco antes de su fallecimiento el Reich le compró otros 14.389 m2 —por 373.106 marcos— para la Sección

Técnica). Con excepción de los Institutos de Física de Berlín y Leipzig, la Sección Científica del PTR era el centro de física más costoso de toda la nación. En 1893, esta sección estaba formada, administración aparte, por tres laboratorios: calor, electricidad y óptica, en los que trabajaban doce científicos e ingenieros, más cinco operarios. Más que cualquier otro instituto de la época.

La Sección Técnica costó todavía más: 2.340.190 marcos (terrenos aparte); se planeó y negoció entre 1889 y 1894, y se construyó durante los tres años siguientes. Constaba de cinco edificios y de cuatro laboratorios (mecánica de precisión, calor y presión, electricidad y óptica).

El PTR cumplió en general con eficacia su función de servicio a la industria, tanto en lo que a desarrollar nuevos elementos se refiere, como en tareas de homologación (en 1889, por ejemplo, comprobó 12.000 termómetros, casi todos para usos médicos). Fue la primera institución de este tipo (laboratorio nacional) que existió, y su modelo fue seguido después por Gran Bretaña y Estados Unidos, pero con diferencias de tamaño y presupuestos.[61] El coste total del PTR, cerca de cuatro millones de marcos, fue más del doble de lo que Estados Unidos se gastó en construir y equipar el National Bureau of Standards,[62] cuya existencia había sido aprobada por el Congreso en 1901 (costó el equivalente a 1.500.000 marcos) y más de seis veces los 600.000 marcos que supuso el National Physical Laboratory británico, que abrió sus puertas en 1902.[63] Con respecto al caso británico, parecen no existir dudas de que esta diferencia muestra la distinta escala e importancia de las industrias, basadas fuertemente en el conocimiento científico, de Alemania y de Gran Bretaña. En lo que se refiere a Estados Unidos, la comparación basada en las anteriores cifras puede llevar a engaño. Como veremos más adelante, la gran nación norteamericana estaba ascendiendo peldaños en la jerarquía científica e industrial internacional rápidamente, y esto se ve también en el Bureau que, aunque costó menos de construir, tuvo de

entrada (esto es, en 1903) un presupuesto de 250.000 dólares, el equivalente a un millón de marcos, prácticamente el doble del que recibía el PTR en 1907, y para entonces el Bureau ya recibía 700.000 dólares (2,9 millones de marcos).64 Por otra parte, hay que tener también en cuenta que las funciones del Bureau eran mayores que las del Reichsanstalt (tenía, por ejemplo, una sección de química). Por último, hay que considerar la existencia de laboratorios industriales, dominio en el que Estados Unidos ya comenzó a brillar de manera sobresaliente en 1900.

Como indiqué, el Reichsanstalt también fue de utilidad para la física fundamental. Ningún ejemplo es más ilustrativo en este sentido que el siguiente.65

Uno de los intereses del PTR eran los estudios fotométricos, esto es, la medida de cantidades que describiesen de manera cuantitativa la luz. En 1888 la Deutscher Verein für Gas-und Wasserfachmänner (Asociación Alemana de Especialistas del Gas y del Agua) pidió al Instituto, a través del Ministerio del Interior, ayuda para evaluar las unidades entonces aceptadas de intensidad lumínica, y si fuese posible, que estableciese una unidad aceptable internacionalmente. La Asociación hizo hincapié en que en círculos científicos y técnicos de Inglaterra, Francia y América, al igual que de Alemania, se deseaba contar con una unidad para medir la luminosidad de la luz. Helmholtz acogió con entusiasmo la idea, más aún teniendo en cuenta que la Marina estaba interesada en mejorar los instrumentos fotométricos que utilizaba y en superar los problemas de pérdida de luminosidad bajo condiciones meteorológicas adversas.

Los correspondientes trabajos se llevaron a cabo en el laboratorio de óptica, que dirigía desde 1887 (y hasta 1904) Otto Lummer. El primer resultado fue el desarrollo de un fotómetro mejor y más económico que el de Bunsen, el más empleado hasta entonces. El nuevo instrumento, debido a Lummer y a uno de sus subordinados, Eugen Brodhum, fue fabricado en 1892 por la firma alemana

Schmidt y Haensch y llegó a ser muy utilizado por la industria del gas y electrotécnica, además de por institutos de física. Pero los trabajos del PTR no se detuvieron en este punto: era necesario desarrollar una unidad auténticamente fiable, con una base científica segura, de intensidad lumínica. Este problema llevó de manera directa a los científicos del laboratorio de óptica a dedicarse a cuestiones relacionadas con la radiación luminosa, en donde ya se contaba con leyes, como la de Stefan-Boltzmann, que relacionaban la temperatura absoluta de la radiación con la energía emitida por un cuerpo negro en equilibrio (según la definición de Kirchhoff, un cuerpo que absorbe toda la radiación sin emitir ninguna).66 En el Reichsanstalt trabajaba entonces el físico teórico Wilhelm Wien (permaneció allí entre 1890 y 1896). La dedicación de Wien a este problema le llevó a desarrollar una ley más precisa que la de Stefan-Boltzmann, una ley que afirmaba que el producto de la longitud de onda de la radiación por la temperatura es constante. El resultado obtenido por Wien, y el papel que desempeñaba la temperatura absoluta, que conectaba con el deseo del Instituto de establecer escalas absolutas de temperaturas, llevó a Wien y a otros científicos del PTR a investigar todos los aspectos de la radiación del cuerpo negro. Para confirmar, por ejemplo, la ley de Wien, éste y Lummer propusieron que se construyese un nuevo tipo de cuerpo negro. El interés mostrado por el Instituto en el problema alcanzó su punto culminante en 1900, cuando las medidas obtenidas por Lummer y Ernst Pringsheim para longitudes de onda largas apuntaron en la dirección de que la ley de Wien, por entonces refinada por él mismo y obtenida por otros métodos por Max Planck, no se verificaba. Poco después, Heinrich Rubens y Ferdinand Kurlbaum, que trabajó con Lummer entre 1891 y 1901, demostraban inequívocamente que así era. Nada más completar sus medidas, Rubens informó a Planck, catedrático en la Universidad de Berlín, de los resultados. El mismo día (7 de octubre de 1900) Planck reconstruía su derivación, teniendo en mente las nuevas medidas, y

llegaba a una ley de radiación, la célebre ley de Planck, de donde surgirían poco después, al ser explicada por el propio Planck utilizando la ley de la entropía de Boltzmann, los cuantos de acción que cambiarían el rumbo de la física.[67]

La Kaiser-Wilhelm Gesellschaft

Los químicos alemanes vieron en el PTR un modelo que imitar, y durante los primeros años del nuevo siglo algunos —entre ellos figuras del calibre de Emil Fischer, Walther Nernst y Wilhelm Ostwald—, junto con representantes de industrias del ramo, como Agfa, BASF y Bayer, consideraron la posibilidad de establecer un Instituto Imperial de Química que hiciera por la ciencia y la industria química lo mismo que el Reichsanstalt estaba logrando para la física y las tecnologías físicas. Llegaron incluso a fundar una Asociación para reunir fondos; sin embargo, tuvieron que abandonar la idea de un «Chemische Reichsanstalt», entre otras razones porque las finanzas del Reich, que era el que debía ocuparse de mantener tal Instituto, estaban sufriendo con el aumento de los gastos militares y con los programas sociales en curso (de hecho, el gobierno ya se había mostrado algo reacio en el caso del PTR, pero la intervención de Siemens venció todos los obstáculos). Al darse cuenta de la imposibilidad de su propósito, la Asociación de químicos apoyó otro proyecto, que recibiría el nombre de Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (Sociedad Káiser Guillermo para el Desarrollo de las Ciencias) y que constituiría, como el PTR, otro paso adelante en la dirección de la *Gran Ciencia* germana.

Estimulados por la creciente amenaza que percibían sobre todo en la industria y en el apoyo institucional a la ciencia en Estados Unidos, los químicos —Fischer y Nernst en especial— continuaron con sus esfuerzos para lograr laboratorios dedicados única y exclusivamente a la investigación. Este punto, el de centros no dedicados a la enseñanza, separados de la universidad, era resaltado con

especial énfasis. Así, en 1909, Adolf von Harnack, el célebre teólogo que llegado el momento sería el primer presidente de la Sociedad Káiser Guillermo, señalaba:[68]

> Hoy existen disciplinas completas que ya no se pueden acomodar en el marco de la universidad, en parte porque requieren instalaciones de máquinas e instrumental tan grandes que no existe ningún instituto universitario que pueda permitírselas, y en parte porque se ocupan de problemas que para los estudiantes son demasiado elevados, no pudiendo ser expuestos nada más que a científicos jóvenes. Esto se aplica, por ejemplo, a la teoría de elementos y pesos atómicos... que constituye una ciencia en sí misma; todo progreso en este campo es de gran trascendencia para la química en general.

El modelo de la Carnegie Institution de Washington, una institución (creada en 1902) que favorecía la investigación con dinero aportado por el industrial Andrew Carnegie, fue uno de los que más presente se tuvo entonces. Si el Reich fallaba, ¿por qué no recurrir a los industriales alemanes, los grandes beneficiarios de la ciencia (de la química en particular) nacional? En 1909 consiguieron que el káiser Guillermo apoyara la idea.[69] De ahí surgió la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, cuyos miembros debían ser personas o compañías que contribuyesen económicamente a ella.[70] El propósito de ésta, que se fundó en una reunión celebrada el 11 de enero de 1911 y que era liderada en lo que a la ciencia se refiere por Emil Fischer (catedrático en la Universidad de Berlín, auténtico «padre» de la química de los carbohidratos; premio Nobel de Química en 1902 por sus contribuciones a la síntesis de la purina y de azúcares simples como la glucosa y la fructosa), era el de «hacer avanzar la ciencia, especialmente creando y manteniendo institutos de investigación en las ciencias naturales». La química, por consiguiente, no tenía que recibir en principio un trato especial. No obstante, en la práctica sí lo recibió, estando, como veremos, los dos primeros institutos fundados dedicados a ella (de hecho, la Asociación para el establecimiento del Instituto Imperial de Química aportó los fondos que había conseguido para la construcción del

primer Instituto, que de esta manera sirvió como sustituto del planeado inicialmente).

Representantes de la industria química, eléctrica, del acero y armamentos (Krupp), del gas y del carbón acudieron a la llamada del káiser, aunque no con la generosidad y en el número que algunos esperaban. Si al principio, cuando se manejaba todavía la idea de un Instituto Imperial de Química, se había pensado en conceder un voto por cada 25.000 marcos aportados al capital, o por 1.000 marcos de contribución anual, se terminó rebajando la imposición a 20.000 marcos para ser miembro de la sociedad. En agosto de 1914, cuando el número de miembros era de 200, el capital que se había conseguido era de 13,6 millones de marcos, que procedían: 600.000 de la agricultura, 3.800.000 de la industria pesada (la familia Krupp contribuyó con 1.400.000), 2.100.000 de las industrias químicas y eléctricas, 900.000 de comerciantes y 3.500.000 de bancos (la procedencia del resto no ha sido identificada).

El primer Instituto Káiser Guillermo inaugurado (el 23 de octubre de 1912) fue el de Química, siendo el director el químico analítico Ernst Beckmann, que se ocupó también de la sección de química inorgánica; existía asimismo una sección de química orgánica, a cargo de Richard Willstätter, y una pequeña sección de radiactividad y química dirigida por Otto Hahn, a quien poco después se le unió Lise Meitner (sería en este centro, a finales de 1938, donde Hahn, en colaboración con Fritz Strassmann descubrió la fisión del uranio).71 El coste del Instituto fue de 1.100.000 marcos, de los que la asociación para el Instituto Imperial de Química puso 850.000. Prácticamente al mismo tiempo abrió sus puertas un Instituto de Química-Física y Electroquímica, dirigido por Fritz Haber. Ambos centros se construyeron en terrenos cedidos por el gobierno prusiano, en Dahlem, cerca de Berlín.

Como he dicho, la química no era sino uno de los campos de interés de la Sociedad. En 1913 se creó un Instituto Káiser Guillermo de Terapia experimental; en julio

de 1914, poco antes de la guerra, se inauguraba un Instituto del Carbón en Mülheim; en los años siguientes seguirían Institutos del Hierro (en Dusseldorf), Química de Tejidos (Dahlem), Biología, Fisiología del Trabajo e Investigación Cerebral. También se estableció, en 1917, un Instituto Káiser Guillermo de Física Teórica, dirigido por Einstein, pero este centro no necesitó instalaciones, sólo algún dinero: su sede se encontraba en Haberlandstrasse 5, Berlín W 30, el domicilio particular de Einstein. En 1930 la Sociedad reunía un total de 26 centros. Todo un imperio; un imperio científico.

La ciencia de la electricidad y la institucionalización de la ciencia

Al estudiar la institucionalización de la ciencia en Alemania, he mencionado ocasionalmente que las aplicaciones de la electricidad sirvieron bien a la industria (y, por supuesto, a la sociedad) alemana de la segunda mitad del siglo XIX, y que en este hecho se encuentra uno de los motivos que explican el establecimiento de nuevos laboratorios de física y, por consiguiente, del avance de al menos parte de la propia física. De hecho, la relación entre electricidad e institucionalización de la ciencia no se limita al caso alemán, pues se encuentra también en prácticamente todas las naciones medianamente desarrolladas. En consecuencia, y para comprender mejor la institucionalización de la ciencia durante el siglo XIX, haré un alto en mi camino en este punto, para describir, brevemente, algunos de los principales rasgos del progreso de la electricidad (o mejor, del electromagnetismo) a lo largo del Ochocientos, prestando atención especial a aquellos hechos más relevantes en un tratamiento socioeconómico.

De la electricidad y el magnetismo al electromagnetismo

Fue a lo largo del siglo XIX cuando más se avanzó en el conocimiento de la electricidad y el magnetismo, fenómenos o propiedades conocidos desde la Antigüedad. El núcleo principal de esos avances se encuentra, sin duda, en que, frente a lo que se suponía con anterioridad, electricidad y magnetismo no son fenómenos separados, sino que están interrelacionados. El punto de partida para llegar a este resultado crucial fue el descubrimiento realizado en 1820 por Hans Christian Oersted (1777-1851) de que la electricidad producía efectos magnéticos (una corriente eléctrica desviaba una aguja imantada).72 La noticia del hallazgo del profesor danés se difundió rápidamente, y en París André-Marie Ampère (1775-1836) demostraba experimentalmente que dos hilos paralelos por los que circulaban corrientes de igual sentido se atraían, repeliéndose en el caso de que los sentidos fueran opuestos. Poco después, Ampère avanzaba la expresión matemática que representaba aquellas fuerzas. Su propósito era dar una teoría de la electricidad sin más que introducir esa fuerza (para él «a distancia») en las ecuaciones de la mecánica newtoniana; no en vano se le llamó «el Newton de la electricidad». Pero el mundo de la electricidad y del magnetismo resultó ser demasiado complejo para que se pudiese cumplir semejante programa, como se encargó de demostrar uno de los grandes nombres de la historia de la ciencia: Michael Faraday, un aprendiz de encuadernador que ascendió de ayudante de Humphry Davy en la Royal Institution londinense (1813) a *Fullerian professor* de Química en ese mismo centro (1833).

El caso de Faraday no es frecuente en la historia de la física: su formación matemática era muy elemental; sin embargo, no sólo llevó a cabo descubrimientos experimentales fundamentales, sino que también introdujo conceptos, como las nociones de «líneas de fuerza» y de «campo», que en su momento se convirtieron en piezas básicas de la teoría electromagnética. En 1821, poco después de saber de los trabajos de Oersted, Faraday demostró que un hilo por el que pasaba una corriente

eléctrica podía girar de manera continua alrededor de un imán, con lo que se vio que era posible obtener efectos mecánicos (movimiento) de una corriente que interacciona con un imán. Sin pretenderlo, había sentado el principio del motor eléctrico, cuyo primer prototipo sería construido en 1831 por el físico estadounidense Joseph Henry (1787-1878). No obstante, lo que le interesaba a Faraday no eran las aplicaciones prácticas, sino los principios que gobiernan el comportamiento de la naturaleza, y en particular las relaciones mutuas entre fuerzas en principio diferentes. En este sentido, dio un paso importante al descubrir, en 1831, la inducción electromagnética, un fenómeno que liga los movimientos mecánicos y el magnetismo con la producción de corriente eléctrica. Este fenómeno, que llevaría a la dinamo, representaba el efecto recíproco al descubierto por Oersted; ahora el magnetismo producía electricidad, lo que reforzó la idea de que en lugar de hablar de electricidad y magnetismo había que referirse al electromagnetismo.

La intuición natural y habilidad experimental de Faraday hicieron avanzar sustancialmente el estudio de los fenómenos electromagnéticos, pero para poder desarrollar una *teoría* del electromagnetismo se necesitaba otro tipo de científico. No hubo que esperar mucho, ni alejarse de Gran Bretaña para que tal personaje, James Clerk Maxwell (1831-1879), apareciese. Maxwell, otro de los grandes de la física, fue capaz de unir todos los cabos sueltos que proliferaban en la electricidad y el magnetismo, e introduciendo ideas nuevas, formular una teoría completa del *campo* electromagnético, que plasmó a lo largo de varios artículos, el más completo publicado en 1865 y titulado «A dynamical theory of the electromagnetic field» («Una teoría dinámica del campo electromagnético»),73 y que desarrolló luego en su gran *Treatise on Electricity and Magnetism* (*Tratado sobre electricidad y magnetismo*) de 1873. Como siempre ocurre cuando se dispone de una nueva teoría fundamental, ésta no sólo describe aquellos fenómenos para los que en principio fue diseñada, sino que explica y

predice otros. En el caso del electromagnetismo fue el propio Maxwell quien en 1864 se dio cuenta (al comprobar que una de las constantes que aparecían en su teoría tenía el mismo valor que la velocidad de la luz) de que la luz era también un campo electromagnético. Esto significaba que la óptica pasaba a verse englobada en el electromagnetismo. Más de ciento treinta años después, todavía se puede apreciar la excitación que sentía Maxwell cuando escribió en el artículo en el que presentó esta idea:74 «Difícilmente podemos evitar la inferencia de que *la luz consiste en ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos*».

Telegrafía

La secuencia de avances en la comprensión de los fenómenos electromagnéticos esbozada en el apartado anterior es, más o menos, satisfactoria (brevedad aparte) si lo que nos interesa es, sobre todo, la *teoría* electromagnética. Pero ése no es mi objetivo. Lo que me interesa son las conexiones, de todo tipo, de la ciencia, de la ciencia electromagnética en este caso, con la «sociedad», y en este sentido es obligado señalar que los fenómenos electromagnéticos salieron del dominio puramente científico bastante antes de que Maxwell redondeara su estructura teórica. El ejemplo más importante es el de la telegrafía.

Tras el descubrimiento de Oersted y de que Johann Schweigger y Johann Poggendorff construyesen, en 1820 y 1821, los primeros galvanómetros (entonces denominados «multiplicadores» porque el efecto de un cable, por el que circulaba una corriente eléctrica, sobre la aguja de una brújula se *multiplicaba* varias veces utilizando una hélice), Ampère y Laplace propusieron la idea de telégrafos electromagnéticos que utilizasen carretes (solenoides) y agujas magnéticas en el extremo receptor, en un número igual al de los caracteres que se deseaban emplear en la transmisión.75 De hecho, Harrison Gray Dyar construyó una

línea telegráfica en Long Island, Nueva York, que funcionó entre 1828 y 1829, en la que los mensajes se recogían mediante procedimientos electroquímicos en una banda de papel. En 1830, Joseph Henry construyó también una línea telegráfica de poco más de 300 metros, lo mismo que hicieron Wilhelm Weber y Karl Friedrich Gauss en Gotinga en 1833, aunque en aquella ocasión llegaron al kilómetro y medio de longitud.[76]

Hasta entonces se puede decir que, en esencia, la electricidad no pasaba de ser uno de los interesantes juguetes de la filosofía natural con el que, por ejemplo, un sabio apellidado Faraday practicaba en la Royal Institution, y que algunos aventureros, o emprendedores, parecían tomar en serio. Pero pronto cambiaría la situación de manera radical, y aquellos aventureros pasarían a ser considerados pioneros. Los primeros en hacer de la telegrafía un éxito comercial fueron dos británicos, William F. Cooke (1806-1879), un oficial del ejército británico que al regresar de la India asistió a una demostración práctica de la telegrafía en la Universidad de Heidelberg, y Charles Wheatstone (1802-1875), profesor del King's College de Londres, esto es, un filósofo natural, pero uno que no desdeñaba en absoluto las aplicaciones prácticas de su disciplina, la física.[77] Sus primeros intentos de mensajes telegráficos se realizaron en 1837, con una línea entre Euston y Camden Town (Londres). Además de conseguir desarrollar un sistema comercial de telegrafía eléctrica, fueron capaces de persuadir a los ferrocarriles británicos para que adoptasen su sistema, algo importante en un momento en que el ferrocarril se estaba extendiendo rápidamente. En 1846, nueve años después de haber entrado en el campo, Cooke y Wheatstone vendieron sus patentes a la Electric Telegraph Company, la primera gran empresa británica dedicada a explotar industrialmente la electricidad. En 1868 existían en el Reino Unido 4.119 oficinas telegráficas y cerca de 40.000 kilómetros de líneas. En 1870 la profesión de «ingeniero telegrafista» había llegado al punto de que se crease una Society of Telegraph

Engineers.

Evidentemente, la historia del desarrollo de la telegrafía no se limita a Inglaterra (aunque sea cierto que esta nación mantuvo durante bastante tiempo una posición dominante en este campo); en una descripción medianamente completa habría que referirse a, por ejemplo, el estadounidense Samuel F. B. Morse (1791-1872), que en abril de 1838 obtuvo una patente de un sistema que incorporaba la idea de su luego famoso código.[78] Pero no es mi intención escribir ni siquiera un esbozo de la historia de la telegrafía. Lo que me interesa es que se entienda que las aplicaciones del electromagnetismo ya se abrían camino, con fuerza creciente, en la década de 1840, cuando Maxwell ni siquiera se había graduado en Cambridge (lo hizo en 1854). En este sentido, no se puede decir que el conocimiento científico guiase al práctico, que la ciencia *pura* precediese a la *aplicada*.[79] Como en muchos otros casos, anteriores y posteriores, la relación ciencia-tecnología resultó ser complicada. Así, aunque el descubrimiento (científico) de Oersted había dado pie a imaginar la posibilidad (práctica) de la telegrafía, una vez abierta la puerta de aquella posibilidad, inventores, *entrepreneurs* y científicos emprendieron, juntos o por separado, la lucha por lograr hacer realidad la idea. A lo largo de ese camino, la ciencia siguió aportando beneficios a la, como nombraríamos hoy, tecnología o tecnociencia (los trabajos de Faraday, Weber o Wheatstone, por ejemplo), pero también aquélla se benefició de ésta. Se ha argumentado, en este sentido, que la noción de *campo* de Faraday, esencial para el desarrollo de la teoría electromagnética, es deudora del descubrimiento del retraso que sufría una corriente eléctrica cuando era transmitida a lo largo de grandes distancias de cables telegráficos.[80] También está el caso de William Thomson (1824-1907). El futuro Lord Kelvin comenzó a interesarse en la telegrafía por cable hacia 1853-1854, y continuó ocupándose de ella durante el resto de su vida, una actividad que no sólo le reportó dinero y fama, sino que

también tuvo un profundo efecto en los problemas científicos de que se ocupó, e incluso, como han señalado sus más recientes biógrafos, en la manera como concibió los fenómenos electromagnéticos.[81] Finalmente, no podemos olvidar que el éxito de la telegrafía repercutió favorablemente en los físicos. Entre 1854 y 1867, dobló su tamaño la red telegráfica británica. El precio de un mensaje se redujo a la mitad y el volumen de comunicaciones se cuadruplicó. En consecuencia, aumentó también la oferta de trabajo en la producción o utilización de conductores eléctricos, aislantes, baterías e instrumental telegráfico, lo que a su vez creó una fuerte demanda de instrucción en telegrafía e, indirectamente, en electricidad.[82] Los Royal Engineers, que durante la guerra de Crimea habían aprendido a valorar el nuevo medio de comunicación, establecieron en 1857 una Escuela Telegráfica Militar en Chatham, que instruyó a cientos de oficiales y soldados en los rudimentos de la electricidad, química y telegrafía. Los talleres industriales en los que se fabricaban aquellos materiales e instrumentos también fueron utilizados para formar trabajadores. Pero ni Chatham, ni los talleres servían para resolver nuevos problemas que, inevitablemente, terminaban apareciendo. Se necesitaban otras escuelas. Una de ellas fue el laboratorio de Thomson en Glasgow (en realidad, este laboratorio, situado en un sótano desocupado, no estaba reconocido oficialmente por la universidad, de la que Thomson era profesor). Durante finales de la década de 1850 y principios de la de 1860, aquel laboratorio fue el único centro universitario en el que se podía obtener algún tipo de enseñanza teórica y práctica relativa a la electricidad. Esto fue posible en gran medida debido a que Thomson estaba implicado en el desarrollo de la telegrafía: había fundado con James White una compañía que generaba problemas técnico-científicos que luego se intentaban resolver en su laboratorio. En 1859, por ejemplo, cerca de veinte estudiantes estaban trabajando allí sobre instrumentos telegráficos, galvanómetros, unidades de resistencia, etcétera. La decisiva participación de

Thomson en el establecimiento de un cable submarino (cuestión de la que me ocuparé enseguida) en 1866 le reportó gran fama. Su universidad quiso agradecerle el reconocimiento que a través de él estaba recibiendo construyéndole un nuevo laboratorio que fue inaugurado en 1870. Entre 1866 y 1874, cuando la construcción de líneas telegráficas submarinas estaba en su apogeo, el laboratorio de Thomson se veía inundado de estudiantes que querían convertirse en «ingenieros telegráficos»; esto es, la universidad (su laboratorio de física, más bien) desempeñaba las funciones de Escuela Politécnica.[83] De hecho, no existieron laboratorios de ingeniería hasta 1878, lo que obligaba a los jóvenes que querían convertirse en lo que hoy denominamos «ingenieros» a recibir su instrucción práctica bien en industrias, como aprendices, bien en laboratorios de física, en los que, como en el de Thomson, la electricidad ocupase una posición dominante. Esto ayudó, evidentemente, a la física, y en este sentido se puede decir que la telegrafía favoreció la institucionalización de la ciencia física hasta, al menos, alrededor de 1880 (entre 1878 y 1900 se establecieron quince laboratorios de ingeniería eléctrica en Gran Bretaña).

Una vez en funcionamiento los cables telegráficos terrestres (aéreos o enterrados) y en constante expansión, era difícil evitar que se intentase utilizar el mismo principio para comunicar lugares separados por mar. Hasta cierto punto era un servicio más necesario que el terrestre, ya que las comunicaciones por mar eran mucho más lentas y difíciles que por tierra (recordemos, además, que estamos refiriéndonos a un período de plena expansión del ferrocarril).

Fue en la India, en una fecha tan temprana como 1839, donde un tal O'Shaughnessy, que se ocupaba del establecimiento de líneas telegráficas terrestres, sumergió un cable de cobre en el Ganges, cerca de Calcuta. Las señales fueron transmitidas de una orilla a otra, con lo que se demostraba experimentalmente las posibilidades de esta forma de comunicación. En 1840, Wheatstone presentaba a

la Cámara de los Comunes un proyecto de cable telegráfico submarino para unir Dover y Calais. Indicó los medios de ejecución y la forma de construir el cable, pero el conductor que proponía tenía unas propiedades de conducción eléctrica tan malas que ni siquiera se le pudo someter a ensayos. Existía, además, un problema importante: la conductibilidad del agua salada exigía que cualquier cable depositado en el fondo marino se encontrase recubierto de un buen aislante para que no perdiera la electricidad que pasaba por él. Ocurría, no obstante, que las sustancias naturales que podrían servir de revestimiento aislante o eran muy caras o, como el caucho, se deterioraban rápidamente en el medio marino.84

En 1849 esta situación cambió radicalmente con la introducción en Europa, procedente de China, de un nuevo material muy parecido al caucho, pero que tenía sobre éste la gran ventaja de ser inalterable con el agua, dulce o salada: la gutapercha. Con este recubrimiento se logró, tras un intento fallido, unir Dover y Calais. Un año más tarde, la línea se completaba uniendo directamente Londres y París. Otras líneas siguieron los años siguientes, a lo largo y ancho del mundo.

En vista de estos logros era natural que pronto surgiese la idea de unir telegráficamente Gran Bretaña con el continente americano. Así fue. El 20 de octubre de 1856 se formó, con capital británico y estadounidense básicamente, la Atlantic Telegraph Company. No iba a ser, sin embargo, una empresa fácil de llevar adelante. Las dificultades técnicas de todo tipo eran muy numerosas y aunque el primer cable se instaló en 1857, no se consiguió depositar un cable que funcionase hasta 1866, siendo William Thomson el máximo responsable de que se pudiesen superar todas las dificultades científico-tecnológicas.85

Para que nos hagamos una idea de la magnitud de la empresa, mencionaré uno de sus aspectos: el del barco que se necesitó para poder transportar y depositar el cable telegráfico en los fondos oceánicos, el *Great-Eastern*.

El gran novelista francés, Jules Verne (1828-1905), que

tantos mundos posibles inventó, sin imaginar tal vez que muchos de ellos terminarían haciéndose realidad, nos dejó una descripción de aquel barco en una de sus novelas, *Une ville flottante* (*Una ciudad flotante*, 1870), en la que el navío era el protagonista.[86] De hecho, Verne sabía bien de lo que hablaba ya que en 1867 había viajado a Estados Unidos en el *Great-Eastern*, acompañado por su hermano Paul.[87] Veamos algunos de los pasajes pertinentes de esta novela, ciertamente no de las más célebres de su autor:[88]

> Llegué a Liverpool el 18 de marzo de 1867. El *Great-Eastern* zarparía pronto hacia Nueva York y yo acababa de sacar mi pasaje. Un viaje de aficionado, ni más ni menos. Me entusiasmaba la idea de atravesar el Atlántico sobre aquel barco gigantesco. Yo quería conocer Norteamérica, pero admito que esto no era lo principal. El *Great-Eastern* ante todo; el país celebrado por Cooper en segundo término. Debe tenerse en cuenta que este buque de vapor es una obra maestra de la ingeniería naval. Más que un barco, es una ciudad flotante, un pedazo de Inglaterra capaz de desplazarse por el océano y soldarse después al continente americano...
>
> En cubierta encontré un verdadero ejército de obreros y me costó creer que semejante espectáculo pudiese contemplarse a bordo de un barco. Miles de marineros, maquinistas, oficiales y curiosos se codeaban sin incomodarse, unos por el puente, otros por las máquinas, unos agrupados, otros dispersos, todos formando un revoltijo indescriptible. Aquí, garruchas volantes levantando enormes piezas de fundición; allá, cabrias a vapor izaban pesadas vigas; sobre la sala de máquinas se balanceaba un imponente cilindro de hierro; cerca de proa, las vergas trepaban; gemían los masteleros; hacia la popa un andamiaje ocultaba un edificio en construcción. Se edificaba, se encajaba, se cepillaba, se pintaba, se clavaba, todo en incomparable y frenético desorden.

Y un poco más adelante, Verne rememoraba el pasado científicotecnológico del barco:[89]

> Después de unas veinte travesías entre Inglaterra y América —una de las cuales fue marcada por incidentes muy graves—, la explotación del *Great-Eastern* quedó momentáneamente abandonada. Aquel inmenso barco no parecía servir para nada.

La recelosa casta de los viajeros lo despreciaba olímpicamente. Pronto sería rescatado del olvido.

Los ingenieros luchaban por unir Europa y América mediante un cable submarino, y tras varios fracasos se acordaron del *Great-Eastern*. Sólo este barco gigantesco podría almacenar los 3.400 kilómetros de cable que pesaban cuatro mil quinientas toneladas. Gracias a su indiferencia ante el oleaje, podría triunfar donde otros barcos habían fracasado. Se hicieron diversas obras para alojar el cable, que debía ser transportado bajo una capa de agua, para que no sufriera en ningún momento el contacto del aire.

La operación de tender el cable submarino culminó con un éxito resonante. Pero después el *Great-Eastern* volvió a caer en el abandono más completo. La Exposición Universal de 1867 lo rescató.[90] Una compañía francesa —*Los Fletadores del Great-Eastern*— se fundó con un capital de dos millones de francos con la intención de utilizar aquel inmenso barco para el traslado de los visitantes de la Exposición. De inmediato comenzaron las obras. Fue necesario desmontar todo lo que se había montado para tender el cable. Se construyeron nuevos camarotes, se agrandaron los comedores, todo cambió rápidamente y con grandes gastos. El Board of Trade exigió que el barco fuera sacado del agua, para poder examinar minuciosamente su casco. La presencia de una pequeña grieta justificó toda la operación... Finalmente, el gigante fue fletado al precio de veinticinco mil francos mensuales.

Continuando con la secuencia de mi narración, tenemos que el impacto popular de la instalación del cable submarino transatlántico fue muy grande. Al fin y al cabo se había conseguido reducir una larga travesía marítima a unos breves instantes, en lo que a comunicaciones se refiere. En ninguna otra época de la historia de la humanidad, incluida la presente, a pesar de toda la tecnología moderna, se produjo una ruptura *cualitativa* de orden parecido, aunque no podemos olvidar que inicialmente los cambios no se extendieron a todas las clases sociales: en 1866, el precio de un telegrama transatlántico era exorbitante, uno de veinte palabras costaba alrededor de cien dólares, el equivalente al salario de cuatro meses de un trabajador industrial. Fueron sobre todo políticos, militares y hombres de negocios quienes

tuvieron que aprender nuevos modos de comportamiento y adentrarse en un mundo científico-tecnológico con el que podían ampliar sus negocios. De hecho, la introducción de redes telegráficas en un ámbito mundial tuvo consecuencias importantes en lo que se refiere a las relaciones internacionales. Como los mensajes telegráficos a grandes distancias tenían que atravesar fronteras entre naciones (un hecho este que algunos países utilizaron para espiar a otros), hubo que establecer convenios de cooperación internacional. Así, en la década de 1850 y principios de la de 1860 se firmaron diversos acuerdos y tratados bilaterales y en 1865 se fundó la Unión Telegráfica Internacional.[91]

ALGUNOS CABLES TELEGRÁFICOS SUBMARINOS (1852 Y 1860)[92]

Años	*Cables*
1852	Holyhead (Gales)-Howth (Irlanda)
	Port Patrick (Escocia)-Donaghadee (Irlanda)
	Boulogne (Francia)-Folkestone (Inglaterra)
1853	Ramsgate (Inglaterra)-Ostende (Bélgica)
	Inglaterra-Holanda
1854	Suecia-Dinamarca
	Córcega-Cerdeña
1855	Cerdeña-África
	Cabo Ray (Terranova)-Cabo Norte (isla de Cabo Bretón)
	Varna (Turquía)-Balaclava (Crimea)
	Italia-Sicilia
1856	Creta-Alejandría (Egipto)
	Creta-Siria
1857	Cerdeña-Malta
	Corfú-Malta
	Manaar (Ceilán)-Pamban (India); dos cables
1858	Inglaterra-Emden (Alemania)
	Valentia (Irlanda)-Terranova
	Turquía (europea)-Esmirna (Turquía asiática)
1859	Singapur-Batavia (Indias holandesas)
	Malta-Sicilia
	Otranto (Italia)-Valona (Turquía) Ceuta-Algeciras
1860	Suez (Egipto)-Quseir (Egipto)
	Port Vendres (Francia)-Argel (Argelia)
	Suakin (Sudán)-Quseir (Egipto)

Los avances técnicos en las comunicaciones telegráficas con hilos continuaron durante las últimas décadas del siglo XIX, pero en los años setenta surgió otra nueva maravilla: el teléfono, obra sobre todo del inventor escocés afincado en Estados Unidos Alexander Graham Bell (1847-1922).[93]

Las nuevas posibilidades suscitaron el interés popular, dando pie a las más fantásticas especulaciones. Comentando la promesa que se hacía en uno de los pabellones de la Exposición Universal de París de 1881 sobre comunicación visual, en el *Electrician* se decía:[94] «El telefotógrafo del Sr. Shelford Bidwell nos da incluso la esperanza de, más pronto o más tarde, ser capaces de ver por telégrafo, y contemplar a nuestros amigos distantes a través de los oscuros cables, a pesar de la curvatura de la Tierra y de la impenetrabilidad de la materia. Con un teléfono en una mano y un telefotógrafo en la otra, el ausente enamorado será capaz de susurrar dulces frases al oído de su amada y ver al mismo tiempo la arrobada expresión de su rostro, no importa cuántas tierras y mares separen a estos enamorados». Por supuesto, instalados hoy en la Era de la Información, con ordenadores que nos permiten mantener conversaciones a distancia en las que no sólo nos oímos sino que también nos vemos (las «teleconferencias»), las palabras del *Electrician* nos suenan tan proféticas como familiares.

Marconi y las ondas hertzianas

Como hemos visto en el apartado anterior, los años que van desde, aproximadamente, 1830 a 1880 contemplaron un cúmulo de avances radicales en el dominio de la aplicación de la electricidad a las comunicaciones. Mencioné entonces que aunque el conocimiento *científico* de la electricidad y el magnetismo constituyó un punto de apoyo importante para los desarrollos prácticos que tenían lugar, el efecto recíproco no dejó de ser menos importante (la ciencia recibió mucho de la técnica), y puse como ejemplo el estímulo que las necesidades tecnológicas significaron para el establecimiento de laboratorios de

física. De hecho, cuando se considera de forma global aquel período se encuentra que los «prácticos», los inventores o los técnicos, tenían motivos más que suficientes para pensar que todo aquel fantástico conjunto de avances que tanto afectaban a la sociedad, les debía más a ellos que a los «teóricos», que a los científicos que dominaban el arte (matemático, preferentemente) de la teoría electromagnética. Se produjo, en definitiva, un sentimiento de superioridad, e, incluso, de reticencia, entre los «ingenieros» hacia los científicos. Como consecuencia de tales sentimientos la teoría maxwelliana fue menospreciada por la mayoría de los ingenieros eléctricos, circunstancia que se vio favorecida por la extrema dificultad de la presentación debida al propio Maxwell.[95]

Esta situación cambiaría gracias a una de las predicciones más sorprendentes de la teoría de Maxwell, predicción de la que el propio Maxwell era consciente: la existencia de radiación electromagnética; o lo que es lo mismo, la emisión de ondas electromagnéticas, de energía, cuando se aceleran cuerpos cargados. Esta predicción, que fue demostrada experimentalmente en 1888, mientras trabajaba en la Universidad de Bonn, por un antiguo estudiante de Helmholtz, Heinrich Hertz (1857-1894), dio pie para que aquella mentalidad cambiase con cierta rapidez, aunque no repentinamente, al menos en las nuevas generaciones de ingenieros eléctricos que a partir de la década de los noventa fue educada según la teoría maxwelliana, lo que a su vez significó que estuvieron mejor preparados que sus predecesores para enfrentarse con las nuevas tecnologías que estaban surgiendo, tecnologías en las que corrientes alternas y efectos del campo electromagnético desempeñaban papeles importantes.[96] Thomas Alba Edison (1847-1931), la quintaesencia del «electricista educado a medias»,[97] del inventor con escaso bagaje teórico, refleja de manera espléndida ese conflicto, esa división entre el ayer, dominado por los «prácticos», y el mañana, protagonizado por ingenieros con una relativamente sólida formación científica (en el campo del

electromagnetismo). Incapaz de lograr manejar las corrientes alternas como había hecho con las continuas, y por consiguiente imposibilitado de entrar —como inventor — en los nuevos campos que se abrían en la industria del electromagnetismo, Edison llegó en 1892 a la conclusión de que «nunca supe nada de esto»; como veremos cuando me ocupe de Estados Unidos, Edison reaccionó en cierta medida al construir un laboratorio en West Orange: el famoso Menlo Park, en New Jersey.[98] A partir de entonces, un buen inventor debería tener, en mayor o menor medida, conocimientos científicos.[99]

Pero continuemos con la radiación electromagnética. El procedimiento empleado por Hertz para detectar las ondas electromagnéticas fue construir un oscilador que las producía y diseñar procedimientos para medir y variar las longitudes de onda. Fue, además, capaz de reflejar estas ondas en superficies metálicas, hacer que se refractasen con prismas y polarizarlas como las ondas luminosas. También demostró que según iba disminuyendo la longitud de onda, más se parecían a las ondas luminosas.

El trabajo de Hertz atrajó la atención inmediatamente al problema de la comunicación sin hilos. Edison y Nikola Tesla en Estados Unidos, Oliver Lodge y William Preece en Inglaterra, y algunos otros, como el ruso Alexander S. Popov, realizaron contribuciones en este sentido, pero fue el italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) quien con más ahínco y habilidad combinó estos conocimientos para producir un sistema que, por primera vez, permitió la comunicación sin utilizar cables por los que circulase corriente eléctrica. Los hitos principales en la carrera de Marconi más relevantes en este contexto se pueden resumir en los siguientes: en 1895 realizó los primeros experimentos en su casa de Bolonia, siendo pronto capaz de extender el alcance de sus transmisiones desde su casa al jardín y después a distancias de entre 1 y 2 kilómetros; en 1896 obtenía su primera patente, y al año siguiente se trasladaba a Inglaterra con el fin de que sus proyectos prosperasen; en 1898 lograba conectar la bahía de Alum, en la isla de

Wight, con Bournemouth, separados por una distancia de algo más de 20 kilómetros; en 1899 establecía la primera conexión internacional entre Folkestone y Boulogne (52 km), y transmitía los primeros mensajes en abril; en 1900 formaba la Marconi International Marine Communications Company.

Varios son los puntos de interés en una obra como la presente al tratar el tema de Marconi y de la telegrafía sin hilos. En primer lugar es importante señalar, siguiendo a Hugh Aitken, que lo que diferenció a Marconi de sus contemporáneos que se interesaron por cuestiones similares no fueron —al menos no inicialmente— sus conocimientos científicos (él trataba, simplemente, de explotar la ciencia de Hertz), ni la excelencia de su tecnología, sino su sentido comercial.[100] Al contrario de lo que se puede pensar en un mundo como el actual, dominado por las transmisiones electromagnéticas, a comienzos de siglo las aplicaciones prácticas de la telegrafía sin hilos eran escasas; de hecho, se pueden resumir fácilmente: comunicaciones marinas, entre barcos y tierra, o entre barcos entre sí, un mercado importante, pero nada comparable al que caracterizaría después esta tecnología. La radio no figuraba entre los pensamientos de Marconi, y en lo que se refiere a comunicaciones individuales a larga distancia, en realidad la telegrafía *con* hilos tuvo poco que temer de la *sin* hilos hasta el redescubrimiento de las ondas cortas (definidas como aquellas con una longitud de onda menor de cien metros) en la década de 1920. Regresaré a este punto enseguida.

Marconi supo, en definitiva, ver las posibilidades reales existentes y sacar partido de ellas; una cualidad que no tuvieron, por ejemplo, Lodge o Popov, que muy probablemente dominaban las técnicas radiotelegráficas mejor que el emprendedor italiano. ¿Para qué, debió pensar Lodge, una vez que logró que funcionase su sistema experimental de radiocomunicación en 1894, preocuparse por sus aplicaciones a la comunicación, si existían problemas para poder implementarla en gran escala,

mientras que la telegrafía con hilos funcionaba bastante bien?[101] Tal vez uno de los problemas era que Lodge pertenecía a una nación que mantenía un liderazgo en ese tipo de transmisión, mientras que Marconi no.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es que los logros de Marconi tenían un gran atractivo popular, independientemente de su posible rentabilidad o aplicación masiva. Esa popularidad, esos programas de investigación y desarrollo que fácilmente se podían imaginar, especialmente por aquellos que sin responsabilidades comerciales podían permitirse el lujo de dejar volar la imaginación, cumplieron también su función al fomentar la ciencia, por un lado, y la tecnología fuertemente dependiente de la ciencia, por otro. Es en este sentido en el que debemos leer citas como la siguiente, extraída de una intervención de William Edward Ayrton, catedrático de Física aplicada e Ingeniería eléctrica desde 1884 hasta su muerte, en el City Guilds Central Technical College de Londres, ante el British Imperial Institute en 1897, poco después de que Marconi obtuviese su primera patente:[102]

> No hay duda de que llegará el día, en el que probablemente tanto yo como ustedes habremos sido olvidados, en el que los cables de cobre, el hierro y la gutapercha que los recubre serán relegados al museo de antigüedades. Entonces cuando una persona quiera telegrafiar a un amigo, incluso sin saber dónde pueda estar, llamará con una voz electromagnética que será escuchada por aquel que tenga el oído electromagnético, pero que permanecerá silenciosa para todos los demás. Dirá «¿Dónde estás?» y la respuesta llegará audible a la persona con el oído electromagnético: «Estoy en el fondo de una mina de carbón, o cruzando los Andes, o en el medio del Pacífico».

En una época como la presente, poblada de teléfonos celulares (o móviles), suena familiar, ¿no?

En 1909, Marconi recibía, junto al alemán Ferdinand Braun (1850-1918), el premio Nobel de Física, «en reconocimiento a sus contribuciones al desarrollo de la telegrafía sin hilos». En el aspecto científico no cabe duda de quién se lo mereció más: Braun. El sistema original

diseñado por Marconi tenía imperfecciones notorias. Las ondas que enviaban las estaciones emisoras eran relativamente débiles y su amplitud decaía con rapidez (oscilaciones amortiguadas), con el resultado de que las ondas producían efectos muy pequeños en las estaciones receptoras. Braun modificó, en 1898, el circuito de transmisión de manera que se pudieron producir ondas intensas con muy poco amortiguamiento. Sólo así se pudo aspirar a lograr realmente una telegrafía sin hilos para grandes distancias.[103]

Volviendo ahora a la cuestión de las ondas largas y las cortas, tenemos que al principio los intereses de Marconi se concentraron en las ondas largas, aunque las cortas no constituían una novedad: los físicos que habían descubierto a finales del siglo XIX las ondas hertzianas, habían estado trabajando con ondas relativamente cortas. De hecho, la longitud de onda de las primeras señales telegráficas transatlánticas que envió (en 1901) era del orden de mil metros. El motivo de su elección se debe a que descubrió que las ondas largas se comportaban de manera diferente a la de la luz: seguían el contorno de la Tierra, siendo posible que, en el caso de que fuesen lo suficientemente largas y poderosas, diesen la vuelta a la Tierra. No era el único que pensaba así: en 1919, los gobiernos británico y estadounidense, convencidos de que las ondas cortas poseían muy poco valor práctico, permitieron a los radioaficionados experimentar en la banda de menos de doscientos metros. Aquel mismo año, sin embargo, se desarrollaron tubos productores de ondas electromagnéticas que permitían producir con cierta facilidad ondas cortas y los radioaficionados descubrieron que podían comunicarse, aunque de manera caótica e impredecible, de un lado a otro del Atlántico. Lo que ocurría era que las ondas rebotaban en la atmósfera, volviendo a la Tierra, después de salvar el Atlántico. Marconi y sus ingenieros estudiaron el fenómeno y pudieron desarrollar transmisores con los que dirigir sus señales de precisión. En 1924, era capaz de enviar desde Europa a Australia, América del Norte y del Sur, Sudáfrica y

la India señales electromagnéticas de onda corta prácticamente durante las veinticuatro horas del día. Y era mucho más barato y rápido que la telegrafía con cables.

Con la introducción de las ondas cortas se puso fin a una característica, hasta entonces prácticamente general, en el desarrollo tecnológico: la de ir hacia tamaños, complejidad y, con frecuencia, costos mayores (así sucedió, por ejemplo, cuando los transatlánticos sustituyeron a los barcos de vela; también sucedió lo mismo más tarde, con la introducción de los aviones a reacción y luego con los computadores). Durante veinticinco años las transmisiones de radio a largas distancias habían ido evolucionando hacia equipos cada vez más grandes y caros, que se concentraban en unas pocas compañías. La transmisión con onda corta rompió esta secuencia, haciendo que las comunicaciones globales fuesen más simples y baratas. Las compañías de cables submarinos fueron las que más sufrieron: la Oficina de Onda Corta del Servicio de Correos británico cobraba por palabra, en los mensajes a Australia, un sexto que las compañías de cables. En 1927, éstas habían perdido la mitad de su negocio en beneficio de la transmisión con onda corta. Se inauguraba de esta forma un modo de desarrollo tecnológico que a lo largo del siglo XX iría introduciendo, especialmente en el dominio de la electrónica, profundos cambios sociales y comerciales, permitiendo que disminuyese, en principio, el tamaño crítico de los agentes científicos o tecnológicos capaces de producir tales cambios.

Otras aplicaciones de la electricidad

El último tercio de siglo vivió una auténtica «era de la electricidad». Hasta ahora me he referido únicamente a las comunicaciones mediante señales electromagnéticas, pero la «era de la electricidad» no se limitó a ellas. Transportes, alumbrado y procesos industriales de todo tipo son otros campos en los que la electricidad irrumpió con fuerza irresistible.

Especialmente interesante resultó ser su aplicación a los transportes. En la Exposición de Berlín de 1879, Werner Siemens llevó a cabo la primera demostración práctica de tren eléctrico con una línea de corto recorrido. Pronto aparecerían líneas ferroviarias en Alemania, y en 1883 se inauguró el primer tren-tranvía eléctrico británico en Brighton.

Evidentemente este tipo de tren tenía grandes ventajas sobre el clásico, el movido por máquinas de carbón, especialmente en lo que se refería a su recorrido por los túneles y a la salubridad para ciudades y pueblos, pero como decía William Siemens —el hermano de Werner, naturalizado británico en 1859— no parecía «razonable suponer que en su estado actual el tren eléctrico pueda competir con el de vapor».104

Efectivamente, la competencia no era posible todavía en los trenes ordinarios, pero no ocurría lo mismo en los «extraordinarios». Debido a lo arcilloso del subsuelo londinense era relativamente fácil excavar túneles; así, durante las dos últimas décadas del siglo XIX se construyeron en Londres líneas de ferrocarriles subterráneos (el metro) para aliviar la congestión del transporte de superficie. Para ello era fundamental desarrollar la tracción eléctrica. Entre 1887 y 1890, se construyó el primero de los *tubes* (metros) londinenses, el City and South London Railway.

La metalurgia también veía abrirse nuevas posibilidades con la electricidad; así se utilizaron procedimientos electrolíticos para la obtención de metales (cobre, por ejemplo) por deposición. Con una dinamo de cuatro caballos de potencia se podía obtener un depósito de 300 kilogramos de cobre en veinticuatro horas. Asimismo, las altas temperaturas que permitía alcanzar la electricidad, y la limpieza con que se lograba, posibilitaron el diseño de hornos eléctricos.

Una de las aplicaciones más importantes, y de mayor difusión social, de la electricidad fue el alumbrado. El principal argumento en favor de la luz eléctrica provenía

del hecho de que estaba libre de productos de combustión que no sólo calentaban los locales alumbrados por otros medios (por ejemplo, con gas), sino que además consumían el oxígeno del que depende la respiración, sustituyéndolo por dióxido de carbono y por compuestos sulfurosos. Por otra parte, la luz eléctrica no posee las tonalidades de la producida de otra manera, lo que hacía posible por primera vez ver las cosas aproximadamente igual de noche que de día.

La electricidad era, sin duda, más cara que el gas, pero en la década de los ochenta ya se aceptaba que debería terminar sustituyendo a esta sustancia como medio de iluminación.105

La institucionalización de la ciencia en Gran Bretaña

El siglo XIX fue crucial para el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda; a lo largo del largo reinado (1837-1901) de Victoria de Kent la gran nación insular alcanzó sus máximas cotas en poderío político, económico, industrial y colonial. Al mismo tiempo comenzó a perder poder en áreas en las que antes ocupaba posiciones preferentes, cuando no de dominio. Inglaterra, el eje sobre el que giraba el reino, estaba dejando de ser el «taller del mundo». La competencia comercial, económica, de Alemania, y poco después de Estados Unidos, era cada vez mayor.

En lo que a desarrollo científico —y tecnológico— se refiere, la historia británica del siglo XIX también muestra un creciente retraso con respecto a Alemania, más notorio en la dimensión institucional y aplicada que en la puramente científica (no olvidemos que a lo largo del Ochocientos Gran Bretaña contó entre sus ciudadanos a luminarias científicas tales como Faraday, Maxwell, Joule, Darwin, Lyell, Kelvin, Babbage, Cayley, Sylvester o Rayleigh, por nombrar algunos). Sería, sobre todo, en la primera mitad del siglo XX cuando ese inferior desarrollo institucional se plasmaría en un número algo menor de científicos británicos realmente importantes frente a la cifra

correspondiente de alemanes.

Comprender las razones de ese retraso requiere tener en cuenta varios factores. Intentaré explicarlos, aunque sea de manera esquemática.

La hegemonía política tiene también sus costos, más aún si lleva asociada un extenso imperio colonial. Un imperio puede ser rentable —y para el Reino Unido ciertamente lo fue— pero tiene sus servidumbres.[106] Una nación relativamente pequeña como la británica tenía que controlar y administrar extensiones y poblaciones de un tamaño enorme, y para ello debía recurrir a muchos de sus ciudadanos, entre ellos a algunos de los más dotados que veían en la administración pública una carrera segura y atractiva.[107]

Mientras que la nación se tuvo que organizar para controlar al imperio, la ciencia mantuvo en la metrópoli durante una gran parte del siglo viejos hábitos. Y en este tradicionalismo reside uno de los problemas de la ciencia en Gran Bretaña durante el siglo XIX.[108] Y es que, a pesar de sus éxitos, representados por nombres como los citados antes, la ciencia británica del Ochocientos fue más un producto, tanto de una tradición anterior como del *laissez-faire*, tan cultivado por los victorianos, que el resultado de diseños políticos, nuevos y más modernos, adecuados a la época. Consecuencia de semejante talante es que la institucionalización de la ciencia se vio dificultada. Y cuanto más se acerca uno al siglo XX, más importante resulta para el avance de la ciencia su institucionalización; esto es, que la actividad científica se encuentre sólidamente asentada en la sociedad. Hasta cierto punto, en una nación como Gran Bretaña no era imposible que surgieran grandes científicos, ya que existía una indudable y sólida tradición científica, básicamente individualista, así como elitistas centros universitarios. Mucho más difícil fue que pudieran acceder a la educación superior jóvenes —y en número importante— de las clases sociales menos favorecidas. Durante gran parte del siglo lo normal fue que entraran en la universidad pocos jóvenes —los de los estratos más altos

— y que aquellos que no se conformaban con vivir de las rentas (acaso porque no las tenían en cuantía suficiente o en absoluto) estuviesen más interesados, caso de ir a la más científica de las universidades, a Cambridge, en obtener una buena clasificación en el más prestigioso de sus exámenes, el *Mathematical Tripos*, a fin de utilizar esta credencial bien para lograr un relativamente lucrativo puesto de *fellow* en algún college, o un respetable y confortable empleo en la administración pública, Iglesia o, tal vez, en la abogacía.[109]

La educación universitaria en Gran Bretaña

El elitismo que acabo de mencionar se vio reforzado por el pequeño número de universidades británicas. Próximo a cumplirse el siglo XIX, existían únicamente trece universidades,[110] frente a quince en Francia, 21 en Alemania y en Italia, y 134 en Estados Unidos. Y no demasiado antes la situación había sido mucho peor: en 1836, cuando se estableció definitivamente la Universidad de Londres —que culminó un movimiento en favor de la difusión de la educación, y sobre todo, de la educación superior práctica, a otras clases sociales, iniciado por el University College—, sólo existían las Universidades de Oxford y Cambridge —que se remontaban al siglo XII—, las cuatro universidades escocesas, St. Andrews, Aberdeen, Glasgow y Edimburgo, creadas entre 1411 y 1583, más la recientemente fundada, en 1832, Universidad de Durham.[111]

Este reducido número de universidades era reflejo de la fuerte estratificación de la sociedad británica; la cultura superior era, como ya apunté, un bien —mejor un lujo— accesible casi exclusivamente a las clases altas. El que existiesen pocas universidades implicaba, además, números pequeños de universitarios. En Inglaterra, el número de estudiantes admitidos cada año en Oxford y Cambridge sólo aumentó de manera importante a partir de la década de 1870: en la década de 1800 la media anual (para el conjunto de ambas universidades) fue de 416 nuevos

estudiantes; 850 en la de 1820, 863 en la de 1840, 991 en la de 1860, para pasar luego a 1.360 en la de 1870, 1.693 en la de 1880 y 1.762 en la de 1890. Los datos para otras instituciones inglesas antes de 1900 son escasos, pero desde luego las cifras implicadas debieron ser muy pequeñas antes de la década de 1860. A las universidades o colleges municipales, de los que me ocuparé más adelante, se estima que asistían 800 estudiantes en 1880, 1.800 en 1888, 3.000 en 1893 y 3.300 en 1900. En Alemania la población universitaria era mucho mayor: 12.200 estudiantes en 1850, 14.200 en 1870, 21.000 en 1880, 28.900 en 1890 y 33.800 (44.200 incluidas las Escuelas Politécnicas) en 1900; sólo en la Facultad de Artes y Ciencias estudiaban 2.900 alumnos en 1850, 4.900 en 1870, 8.800 en 1880, 7.700 en 1890 y 12.700 en 1900.112

El número de profesores estaba, obviamente, en relación directa con el de universidades, y si tenemos en cuenta que las ciencias físico-químicas no ocupaban una posición particularmente prominente en las universidades británicas, la consecuencia es que físicos y químicos tenían en este aspecto menos oportunidades que en otras naciones (sin embargo, los colleges, con sus *fellowships* —puestos pagados para algunos investigadores—, mitigaban algo esa limitación). El aumento de instituciones de educación superior a partir de la década de 1870 mejoró la situación.

La educación en materias tecnológicas (asociada a lo que se suele denominar Escuelas Politécnicas) no se encontraba en un estado mejor a mediados de la centuria. Desde el siglo XVIII Inglaterra era la gran potencia industrial mundial; sin embargo, al contrario que Francia, no había implantado un sistema de educación técnica de nivel superior, con programas de estudio, exámenes y títulos. Los individuos cuyos inventos e innovaciones tecnológicas habían suministrado la base de la reputación de los procesos de producción, maquinarias y productos industriales británicos fueron, en general, autodidactas, artesanos o mecánicos especialmente hábiles, personas, en resumen, con experiencia práctica en talleres. En la primera

fase del proceso de industrialización, e incluso más adelante, el conocimiento técnico se obtenía, como ya apunté antes en el caso de la electrotecnología, a través de la experiencia directa en industrias mediante un habitualmente largo aprendizaje en los talleres, no era el resultado de una formación científica sistemática en universidades o institutos de investigación estatales (ni tampoco privados). Esta práctica hizo que se valorase mucho el sistema del aprendizaje, produciéndose al mismo tiempo una actitud negativa frente a una educación con una fuerte base teórica para los ingenieros. Tal talante siguió predominando en el Reino Unido hasta bien entrada la mitad del siglo XIX, a pesar de que las nuevas tecnologías estaban modificando (en ocasiones *habían* modificado ya) radicalmente el carácter de la producción industrial.

Fue en las Midlands y en el norte de Inglaterra donde, en las décadas de los setenta y de los ochenta, se produjeron los primeros cambios realmente significativos. Preocupados por la competencia extranjera y por la falta de personal especializado, además de verse afectados por un sentimiento de orgullo local, industriales, benefactores y autoridades locales de aquellas zonas inglesas crearon un puñado de colleges —los *civic colleges* o colleges municipales— en los que se daba preferencia a la educación científica-tecnológica: Newcastle College of Physical Science (1871), Yorkshire College of Science, Leeds (1874), Firth College, Sheffield (1874), University College, Bristol (1876), Mason College of Science, Birmingham (1880), University College, Liverpool (1881) y University College, Nottingham (1881).[113]

Además, las aspiraciones de los municipios no se detuvieron con la creación de estos colleges: se continuó luchando por conseguir para ellos el estatus universitario. Así, durante una conferencia que pronunció el 2 de octubre de 1883 en el Mason College, el físico John Henry Poynting, cuyo nombre ha quedado asociado para siempre a algunos resultados de la teoría electromagnética, declaraba:[114] «Me he atrevido a sugerir, y hoy me

propongo presentar a ustedes algunos comentarios sobre la posibilidad de que colleges como el nuestro ofrezcan a nuestros estudiantes algunas de las ventajas de la vida y la cultura universitarias, ventajas que hasta muy poco sólo han estado en Inglaterra al alcance de los estudiantes que podían entrar en las viejas universidades de Oxford y Cambridge».

El Owens College, que ya llevaba funcionando en Manchester treinta años, fue el primero en lograr la carta universitaria, convirtiéndose en 1880 en la Universidad Victoria;115 Liverpool se le unía en 1884 y Leeds en 1887. Una donación de 50.000 libras por parte de Andrew Carnegie (1835-1935) ayudó a que Birmingham también alcanzase el rango universitario en 1900, precipitando la ruptura de la Universidad Victoria;116 Manchester y Liverpool se convirtieron en universidades independientes en 1903, Leeds en 1904. En 1905 le tocó el turno a Sheffield y en 1909 a Bristol, gracias, sobre todo, al dinero (100.000 libras) que donó en mayo de 1908, específicamente para «una universidad para Bristol y el oeste de Inglaterra», el magnate de la industria del tabaco Henry Overton Wills, quien sería el primer canciller de la universidad.

La creación de estos colleges/universidades representó un aumento importante en el número de graduados en disciplinas científicas. Asimismo, crecieron de forma significativa los puestos académicos accesibles a científicos. Y no sólo en colleges: a finales del siglo XIX aumentó considerablemente el número de escuelas en las que se enseñaban materias científicas. Como consecuencia creció también el número de estudiantes que deseaban estudiar ciencias en las universidades. En 1931, Joseph J. Thomson, hasta hacía no mucho director del Laboratorio Cavendish de Cambridge, descubridor de la primera partícula elemental, el electrón, y premio Nobel de Física, señalaba, como evidencia de este fenómeno, que en 1881, treinta años después de que se hubiese introducido el *Natural Sciences Tripos* en Cambridge, el número de candidatos

únicamente había llegado a 25, mientras que en 1891 ya eran 94, prácticamente los mismos que en cualquiera de los otros *Tripos* (los exámenes más prestigiosos) de la universidad.[117] Se produjo, en definitiva, una dinámica que favoreció el desarrollo científico británico.

Laboratorios

El impulso adquirido gracias a la Revolución Industrial, una revolución netamente británica, en la que el conocimiento proveniente de la ciencia fue menos importante que la habilidad semiempírica (no olvidemos que la Revolución Industrial se basó en el control de la energía y que la termodinámica, la ciencia de la energía, es posterior a esa revolución), se mantuvo durante bastante tiempo. No es extraño, por consiguiente, que la gran (y primera en el mundo) Exposición Universal de 1851 —«The Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations»— constituyese un triunfo para la industria y la tecnología británicas. Ahora bien, si la Royal Society of Arts hubiese decidido celebrar otra exposición similar medio siglo después, la impresión habría sido mucho menos satisfactoria en lo que a las potencialidades de Gran Bretaña se refiere. Alemania la había superado, Estados Unidos en algunos campos y Francia no andaba muy lejos en ciertas parcelas.[118]

Al sentirse superada por otras naciones, se extendió por Gran Bretaña un sentimiento de decadencia que cuestionaba la situación en que se encontraba su ciencia y su sistema educativo. Se constituyeron Comisiones Reales dedicadas a analizar apartados educativos en los que la ciencia ocupaba un lugar destacado. Así, la Comisión designada en 1853 para informar acerca de los estudios en Oxford y Cambridge recomendó que se ofreciesen más oportunidades a los estudios científicos en esas universidades; conclusión similar a la producida por la Comisión que se constituyó en 1864 para informar sobre la situación en las siete escuelas públicas más importantes, y a

la alcanzada por la más minuciosa Royal Commission on Scientific Instruction and the Advancement of Science, que publicó sus informes entre 1873 y 1874.

Esta última Comisión reproducía, con aprobación, diversos comentarios en los que se señalaba que el motivo del lento progreso de la investigación original en Gran Bretaña, y especialmente en Inglaterra, se debía en primer lugar a la falta de edificios adecuados en los que se pudiesen realizar las investigaciones experimentales necesarias; en segundo lugar, a la carencia de fondos para costear tales investigaciones, en muchas ocasiones, se indicaba, caras; y por último, lo más importante de todo, a la falta de reconocimiento de la investigación en las universidades británicas. Incluso la Universidad de Londres, que, como se apuntaba, se había distinguido por promocionar la enseñanza de la ciencia experimental, daba su grado más elevado en ciencia sin requerir ninguna prueba de que el candidato estuviese capacitado para desarrollar investigaciones originales, o que pudiese reconocer las fronteras de la ciencia en que se estaba graduando.[119]

Estos problemas estaban íntimamente relacionados con la situación en que se encontraban los laboratorios de investigación en Gran Bretaña. Veamos qué ocurría en la física.

Hasta la segunda mitad del siglo XIX no había existido ningún laboratorio oficial de física en una institución de educación superior británica. El laboratorio más antiguo fue establecido por William Thomson en 1850, y recordemos que estaba situado en un sótano hasta entonces desocupado. Ya he señalado que después del éxito de la instalación y puesta en funcionamiento, en 1866, del cable transatlántico submarino telegráfico, la universidad le construyó uno nuevo en 1870. También por entonces se establecieron otros laboratorios, como los de University College, Londres (1866; dirigido por G. C. Foster), Edimburgo (1868; P. G. Tait), King's College, Londres (1868; W. G. Adams), Owens College, Manchester (1870; B.

Stewart), Oxford (1870; R. B. Clifton); Royal School of Mines (más tarde Royal College of Science) de Londres (1872; F. Guthrie), Royal School of Science de Dublín (1873; W. Barret), Queen's College de Belfast (1873; J. D. Everett).[120] El famoso Cavendish de Cambridge se inauguró en 1874, con James Clerk Maxwell como director.[121]

A pesar de que se estableciesen nuevos laboratorios, ni éstos eran demasiados ni equiparables a los que existían, o se estaban creando, en Alemania. Refiriéndose a los años en torno a 1881, cuando fue nombrado *professor* en el nuevo University College de Liverpool (instalado en lo que había sido un viejo asilo para lunáticos), Oliver Lodge (1851-1940) escribía lo siguiente:[122]

> Los laboratorios de física eran novedades en aquellos días. El de Carey Foster [en el University College de Londres] había sido el primero de su clase en Inglaterra; quiero decir un lugar en el que los estudiantes eran preparados para realizar ellos mismos experimentos. Lord Kelvin tenía uno en Glasgow, en el que había instruido a unos cuantos estudiantes durante sus muchos años de existencia. Pero en el continente existían muchos laboratorios y por tanto propuse [en Liverpool] que hasta que el college abriese sus puertas en octubre, yo debería efectuar una gira por los laboratorios del continente y ganar experiencia de esta manera. En este sentido se decidió que mi salario de 400 libras anuales comenzaría a mediados del verano en lugar de en Michaelmas [uno de los períodos en que se divide en Inglaterra el curso académico], y que usaría una cuarta parte de él con dicho propósito.
>
> Así, partí en mi solitaria peregrinación, y visité Berlín, Leipzig, Chemnitz, Dresden, Praga, Viena, Wurzburgo, Heidelberg, Bonn y París.

La química compartía con la física el problema de instalaciones mal dotadas, como demuestra la historia de los primeros años del Royal College of Chemistry que dirigió Hofmann, pero también tenía sus problemas específicos. Así, nos encontramos con que durante la mayor parte de la primera mitad del siglo, la enseñanza de la química estuvo dominada por sus aplicaciones a la profesión médica, algo que ponía límites evidentes al

posible desarrollo intrínseco de la disciplina. Más tarde, hacia la década de 1840, también llamaron la atención sus aplicaciones a la agricultura;[123] una década antes de que se estableciera el Royal College of Chemistry, la British Association for the Advancement of Science (BAAS) y la Royal Agricultural Society de Inglaterra (fundada en 1838) se dedicaron, junto al gobierno, a promover las aplicaciones de la química a los problemas de la agricultura. La campaña para establecer el Royal College of Chemistry, que tendría a Hofmann como primer director, surgió en este ambiente.[124] En julio de 1844, después de haber realizado algunos intentos concretos, John Gardner y John Lloyd Bullock, un farmacéutico y un químico, respectivamente, dedicados a la preparación de compuestos químicos con aplicaciones diversas, publicaron una *Proposal for establishing a College of Chemistry for promoting the science and its applications to agriculture, arts, manufactures, and medicine (Propuesta para establecer un College de Química para promover la ciencia y sus aplicaciones a la agricultura, artes, manufactura y medicina)*. Un año después la propuesta daba fruto. Hasta cierto punto, el que colorantes sintéticos surgieran más o menos directamente del nuevo centro es coherente con la filosofía práctica y aplicada que rodeaba a la química británica de la época. Ahora bien, si se considera que el conocimiento fundamental es esencial para el avance de las aplicaciones, entonces podríamos concluir, asimismo, que los problemas (la dependencia de químicos alemanes, por ejemplo) que afectaron a la química de los tintes británica frente a la germana dependieron también de aquel talante. Es difícil, sin embargo, extraer conclusiones tan rotundas en un problema con tantas dimensiones como éste, al que ya me referí con anterioridad.

La paulatina creación de nuevos laboratorios no significó que el dinero afluyese en grandes cantidades. En un informe preparado en 1896 para la BAAS por un comité presidido por Douglas Galton, y en el que participaban, entre otros, Lord Rayleigh, Lord Kelvin, Henry Roscoe, George Foster, Arthur Schuster, Francis Galton, Richard

Glazebrook y Oliver Lodge, dedicado a considerar el tema del posible establecimiento de un Laboratorio Nacional de Física, se enumeraban las principales fuentes de subvención que recibía anualmente la investigación británica; eran éstas: 4.000 libras procedentes del gobierno y que administraba la Royal Society (fue en 1851 cuando el gobierno tomó la decisión de dar algún dinero a la Royal Society; inicialmente, entre 1851 y 1881, fueron 1.000 libras); el *Donation Fund* de la propia Royal Society, que se obtenía de los superávit de sus rentas; contribuciones realizadas por la propia BAAS; investigaciones llevadas a cabo en la Royal Institution (donde, recordemos, trabajaron Davy y Faraday), sufragadas en su mayor parte con fondos privados; 6.000 libras que la Royal Commission of the Exhibition of 1851 destinaba de sus rentas a becas de investigación (el gran Ernest Rutherford se benefició de una de estas becas para ir a Cambridge desde su Nueva Zelanda natal); más las procedentes de instituciones de diverso tipo, como sociedades locales y laboratorios universitarios, en las que se llevaban a cabo investigaciones.[125]

En cuanto a las universidades y colleges, entre 1890 y 1900, las subvenciones del Estado prácticamente se triplicaron, pasando de 30.000 libras en 1890 a 80.000 en 1900 (215.000 en 1910). No obstante, estas cifras eran muy inferiores a las que gastaban en sus universidades los gobiernos francés (810.000 libras) y alemán (840.000) en 1910,[126] y en este sentido no faltaron voces que protestaban ante esta situación de inferioridad. «El estado alemán», se lamentaba amargamente en 1903, durante su discurso como presidente de la British Association for the Advancement of Science, Norman Lockyer (1836-1920), uno de los pioneros en la aplicación de las técnicas espectrográficas a la práctica astronómica, «da más a una sola universidad de lo que el gobierno británico concede a todas las universidades y colleges universitarios en Inglaterra, Irlanda, Escocia y Gales juntas».[127] Poco antes, el 30 de mayo de 1901, y en el importante foro de debates científicos que era la revista *Nature* —que dirigía el propio

Lockyer—, Arthur Balfour, el gran político conservador inglés (llegó a ser primer ministro entre 1902 y 1905; también fue *fellow* de la Royal Society y presidente de la BAAS), había manifestado: «No creo que ningún hombre que observe los equipos de nuestras universidades o escuelas médicas pueda decir de corazón, honestamente, que hemos hecho lo suficiente para que se haga investigación con todo el costoso arsenal que ésta debe de tener en la actualidad. Nosotros, la nación más rica del mundo, estamos detrás de Alemania, Francia, Suiza e Italia. ¿No es lamentable? ¿Somos demasiado pobres o demasiado estúpidos?».

Otro punto en el que se centraban las críticas al gobierno era el de su falta de apoyo a la homologación de instrumentos. La creación del PTR alemán fue considerada como ejemplo de lo que toda nación con pretensiones debía hacer. Oliver Lodge utilizó su conferencia inaugural de la sección A del congreso de la BAAS de 1891 en este sentido, y también intentó ganar para la causa a Rayleigh en 1892, aunque éste declinó, argumentando entre otras razones que lo que el gobierno quería en aquel momento era ampliar las instalaciones de South Kensington (movimiento que llevaría a la creación del Imperial College) y que tal vez así se conseguiría, «de alguna manera», lo que Lodge deseaba.[128] El impulso definitivo llegó en 1895, cuando Douglas Galton, el presidente aquel año de la BAAS, utilizó toda la solemnidad de su discurso inaugural del congreso anual, esta vez celebrado en Ipswich, para abordar este tema, con el que, de hecho, cerró prácticamente su intervención:[129]

> El apoyo del gobierno a la ciencia ha estado basado sobre todo en el principio de ayudar a los esfuerzos voluntarios. El Observatorio de Kew comenzó a ser utilizado como un observatorio científico por la British Association. Ahora es mantenido por el fondo del *trust Gassiot*, y controlado por el Comité para el Observatorio de Kew de la Royal Society. Se realizan allí observaciones magnéticas y meteorológicas, se controlan las manchas solares, y se efectúan experimentos sobre nuevos instrumentos con fines meteorológicos, termométricos y fotográficos. El Comité también ha dispuesto que se

> comprueben instrumentos científicos de medida, cronómetros y lentes, entre otros. Esta institución lleva a cabo, en cierto modo, una pequeña parte del tipo de trabajos que se hacen en Alemania en esa magnífica institución que es el Reichsanstalt de Charlotemburgo, pero su desarrollo se ve obstaculizado por falta de fondos. Los científicos británicos se ven obligados a recurrir a Berlín y París cuando necesitan comparar sus instrumentos y aparatos más delicados con unidades reconocidas. Difícilmente podrá existir una adición más ventajosa a la ayuda que el gobierno concede ahora a la ciencia que dedicar una suma anual sustanciosa a la ampliación del Observatorio de Kew, para desarrollarlo según el modelo del Reichsanstalt. Sería útil retener la conexión con la Royal Society, bajo un Comité de Administración que represente a las diversas ramas científicas involucradas, y de todas partes de Gran Bretaña.

El laboratorio (denominado National Physical Laboratory), que, efectivamente, dependió de la Royal Society, sería creado en 1900, con Richard Glazebrook (1854-1935) como director.[130] Sin embargo, no se eligió Kew sino un antiguo palacio donado por la reina Victoria en 1900 (Bushy House) en Teddington, entonces una pequeña población de 14.000 habitantes no lejos de Londres. Cuando fue inaugurado, el 19 de marzo de 1902, su estructura giraba en torno a dos departamentos: el de Física y el de Ingeniería, incluidas en el primero divisiones de electricidad, termometría, metrología y metalurgia (en años sucesivos se fueron incorporando divisiones de óptica, electrónica, fotometría y predicción de mareas). En cuanto a financiación, el dinero aportado inicialmente por el Tesoro para las instalaciones y el equipo fue de 33.000 libras, y durante sus cuatro primeros años de vida recibió una asignación anual de 4.000 libras; en 1911, sin embargo, ya alcanzaba las 30.571 libras y en 1913-1914 las 43.700. El capital invertido hasta el 31 de diciembre de 1911 sumaba 104.399 libras.[131]

La creación del National Physical Laboratory estuvo acompañada de otras acciones en favor de la ciencia y la educación británicas. La química, por ejemplo, recibió un

fuerte apoyo al aprobarse en 1909 la primera Acta gubernamental para «ayudar y desarrollar la agricultura y las industrias rurales promoviendo la investigación científica, instrucción y experimentos científicos, métodos y práctica de la agricultura (incluyendo la provisión de institutos-granja)», destinándose medio millón de libras para tal fin.[132] El procedimiento seguido fue construir un sistema de adquisición de nuevos conocimientos apoyado en universidades e instituciones dedicadas a la investigación que estuviesen ligadas a colleges agrícolas. Así, en el Imperial College, al que me referiré enseguida, se estimularon investigaciones sobre la fisiología de las plantas y la nutrición animal, en la Universidad de Cambridge, sobre la producción de plantas, y en el Royal Veterinary College, sobre patología animal.

Sociedades científicas

En lo que precede apenas me he referido a las sociedades científicas británicas, siendo como es un tema que no debe faltar en cualquier discusión informada de la ciencia del siglo XIX en Gran Bretaña; pero, repito, este capítulo no pretende —ni puede— ser más que un esbozo de algunos temas relativos a la institucionalización de la ciencia durante el Ochocientos. Merece la pena, sin embargo, detenerse un instante en este apartado.

Gran Bretaña es una nación en la que el asociacionismo posee una tradición particularmente intensa. No sólo cuenta con sociedades de entre las más antiguas y prestigiosas, como la Royal Society, sino que además se fundaron allí numerosas sociedades profesionales y locales (algunas de estas últimas apoyaron de manera significativa el avance científico, como la Manchester Literary and Philosophical Society, asociada a nombres como los de John Dalton y James Prescott Joule).[133]

La siguiente tabla, en la que, con propósitos comparativos, he incluido más sociedades de las necesarias en un libro como el presente, servirá tanto para ver la

intensidad del movimiento asociacionista durante el siglo XIX, como para hacerse una idea del tamaño de las mismas.[134]

Sociedad	*N.o miembros*
Año de creación	*1877*
Royal Society	541
Royal Society of Edinburgh	450
Linnaean Society	462
Royal Irish Academy	328
Geological Society	1.300
Institute Civil Engineers	3.695
Institute Mechanical Engins.	1.746
Royal Astronomical Society	521
Royal Zoological Society	2.920
Statistical Society	346
Manchester Statistical Soc.	162
Royal Agricultural Society	5.725
Chemical Society	1.015
Pharmaceutical Society	2.500
Obstetrical Society	700
Pathological Society	400
British Meteorological Soc.	405
Scottish Meteorological Soc.	520
London Mathematical Society	147
Physical Society	270

La filantropía británica

Cuando traté el caso del establecimiento del Physikalische-Technische Reichsanstalt, nos encontramos de forma palpable con la generosidad privada de la sociedad germana para con la ciencia, en aquella ocasión representada por el industrial Werner Siemens, que reconocía así los favores recibidos de esa misma ciencia (la Kaiser Wilhem-Gesellschaft es otro ejemplo en este sentido). En general, la ayuda que la industria alemana prestó a la ciencia de su país fue superior a la que los industriales británicos dieron a la suya. Pero acaso más interesante que comparar magnitudes es ver algunos rasgos peculiares, y

significativos, de la filantropía británica. Mientras que en los casos de los colleges municipales mencionados con anterioridad se recibieron importantes ayudas económicas de industriales locales, lo que no dejaba de ser lógico teniendo en cuenta que éstos iban a figurar entre los principales beneficiarios, en Londres la situación fue completamente diferente. Tomemos, por ejemplo, el caso del Imperial College of Science and Technology, establecido en South Kensington en 1907. Pues bien, entre los benefactores que hicieron posible el que se fundara esta gran universidad técnica (la primera de este tipo en existir en Gran Bretaña; no importa que formalmente formara parte de la Universidad de Londres) no figuran industriales. Las mayores donaciones procedieron del pequeño círculo de financieros y banqueros londinenses de origen sudafricano y alemán (especialmente cuantiosas fueron las aportaciones de Julius Wernher y de Alfred Beit, que habían adquirido su fortuna con las minas de diamantes y de oro de Sudáfrica). Se puede entender que este tipo de personaje se involucrase en proyectos educativos con una base eminentemente científico-tecnológica, según las siguientes posibilidades: constituía una forma de adquirir prestigio social, o se trataba de una auténtica generosidad, unida a una correcta visión de lo que necesitaba la nación para afrontar el futuro. No es tan fácil, sin embargo, encontrar explicaciones para las ausencias de los industriales londinenses: tal vez todavía estaban demasiado pegados a la tradición derivada de la Revolución Industrial, en la que los progresos técnicos no dependieron mucho del conocimiento científico.[135]

Estados Unidos

Caracterizar a una nación mediante una frase es tarea harto temeraria y en general condenada al fracaso, pero si nos viéramos forzados a emplear una en el caso de Estados Unidos, no me cabe duda de que muchos recurrirían —en especial al referirse al siglo XIX— a dos palabras: *naturaleza práctica*. No hace falta, en efecto, conocer muy bien la

historia de esa nación para toparse con numerosos ejemplos que muestran las inclinaciones prácticas —y pragmáticas— de sus ciudadanos, acaso por la dificultad que éstos (muchos de ellos emigrantes procedentes del Viejo Continente) encontraban en el Ochocientos para abrirse camino en un país de tan enormes dimensiones.

La colonización del Oeste fue una de las fuerzas sociales, al igual que económicas, que dominó el período anterior a la guerra civil (1861-1865). Para facilitar esta expansión hacia territorios apenas conocidos, y también para mejorar el conocimiento de los ya habitados, el Gobierno Federal se vio en la necesidad de apoyar trabajos en astronomía, hidrografía, geofísica, magnetismo terrestre, meteorología, estudios topográficos, geología, botánica, zoología y antropología. Estas disciplinas, indispensables para conocer la geografía física y humana de la nación, fueron las únicas apoyadas entonces por el gobierno. Como ha señalado Hunter Dupree, el gran estudioso de la ciencia y el Gobierno Federal:136 «Las ciencias en las que predominaba el trabajo de laboratorio, en las que los descubrimientos se realizaban en tubos de ensayo en lugar de en distantes montañas, no se encontraban entre los intereses del gobierno».

Es representativo que los orígenes de una organización como la American Association for the Advancement of Science (Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia) muestren también este tipo de intereses. En 1840, diez geólogos, la mayoría vinculados a los servicios topográficos y agrimensores estatales, se reunieron en Filadelfia para constituir una Association of American Geologists, que dos años después adoptaba el nombre de Association of American Geologists and Naturalists (Asociación Americana de Geólogos y Naturalistas). En 1848, esta organización, ya más numerosa, cambiaba su nombre adoptando una nueva Constitución basada en la de la BAAS. Esta American Association for the Advancement of Science, que inicialmente contaba con sólo dos secciones (una dedicada a «Física general, Matemática, Química,

Ingeniería civil y Ciencias aplicadas en general», y la otra a «Historia natural, Geología, Fisiología y Medicina»), se convirtió rápidamente, al igual que sus hermanas de otras naciones, en un importante lugar de reunión de los científicos estadounidenses. En 1848 tenía 461 miembros; en 1854 el número había ascendido a 1.004.

En medio de la guerra civil el Congreso aprobó una ley estableciendo una National Academy of Sciences, que firmó el presidente Abraham Lincoln el 3 de marzo de 1863. En la mente de muchos de sus promotores estaba la idea de que la nueva institución sirviera de puente, o de delegado, entre el Gobierno Federal y la ciencia nacional. Sin embargo, tales ambiciones no se cumplieron: la Academia sirvió como instrumento de reconocimiento de méritos científicos, pero no como centro de poder o de patronazgo. No publicaba ninguna revista de manera regular, sus reuniones eran poco frecuentes y pocas personas asistían a ellas; además, y probablemente a causa de lo anterior, manejaba un presupuesto muy limitado.

En general, el período que va de la creación de la National Academy of Sciences hasta el comienzo de la Primera Guerra Mundial en 1914, se puede describir como de un crecimiento moderado —aunque, como iremos comprobando a lo largo de este libro, significativo— de la ciencia en Estados Unidos, sin ayudas importantes de fondos públicos y sin la existencia de ningún tipo de planificación federal.

Una disciplina en la que se puede apreciar con cierta claridad el avance durante el siglo XIX —lento pero progreso, al fin y al cabo— de la ciencia estadounidense, es la astronomía (una ciencia por otra parte también *útil* y por consiguiente favorecida en América; se la necesitaba para la agrimensura y también para ayudar a mantener un servicio horario y calendario). En 1825, John Quincy Adams accedía a la presidencia de Estados Unidos, y en su primer mensaje anual al Congreso hizo una de las defensas de la ciencia más rotundas nunca realizadas por un presidente estadounidense.[137] Entre otros puntos, señaló que, como

americano, no podía sentir ningún orgullo en el hecho de que, mientras que Europa podía ufanarse de poseer 130 «faros de los cielos», no existía ninguno en todo el hemisferio norteamericano. Tenía razón: en 1839, por poner un ejemplo, Harvard —todavía nada más que un college— no disponía de fondos para adquirir aparatos astronómicos capaces de observaciones que mereciesen la pena. Cuando, en 1843, la ola de consultas recibidas acerca del cometa visible aquel año reveló públicamente las deficiencias de la observación astronómica, en Cambridge, Massachusetts, tuvo lugar una reunión de ciudadanos, presidida por el magnate textil Abbot Lawrence, para intentar subsanar tal carencia municipal. Fruto de aquella iniciativa fue la construcción de un nuevo observatorio en 1847, al que se le dotó de un telescopio que costó 20.000 dólares. Es significativo que la pieza más importante de ese telescopio, la lente, se tuviese que fabricar en Alemania.

Dada esta situación no es sorprendente que ningún norteamericano figure entre los principales astrónomos de la primera mitad del siglo XIX:138

Principales astrónomos (1801-1850)
1. F. W. Bessel (1784-1846). Alemán
2. J. F. W. Herschel (1792-1871). Británico de origen alemán
3. F. G. W. Struve (1793-1864). Alemán/ruso
4. W. Parsons, Lord de Rosse (1800-1867). Británico
5. F. W. A. Argelander (1799-1875). Alemán
6. J. F. Encke (1791-1865). Alemán
7. G. Piazzi (1746-1826). Italiano
8. J. von Fraunhofer (1787-1826). Alemán
9. H. W. M. Olbers (1758-1840). Alemán
10. U. J. J. Le Verrier (1811-1877). Francés

Sin embargo, en la segunda mitad ya aparecían tres.

Principales astrónomos (1851-1900)
1. W. Huggins (1824-1910). Británico
2. A. Secchi (1818-1878). Italiano
3. J. N. Lockyer (1836-1920). Británico
4. G. V. Schiaparelli (1835-1920). Italiano

5. E. C. Pickering (1867-1919). Estadounidense
6. P. J. Cesar Janssen (1824-1907). Francés
7. J. C. Adams (1819-1892). Británico
8. J. K. F. Zollner (1834-1882). Alemán
9. S. Newcomb (1835-1909). Canadiense/estadounidense
10. E. E. Barnard (1857-1923). Estadounidense[139]

En lo que a la física y a la química se refiere, tenemos que próximo el fin de siglo ya se cultivaban lo suficiente como para que se fundasen asociaciones profesionales. En 1876 se creó la American Chemical Society, aunque por entonces esta sociedad no pasaba de ser una de entre varias que se ocupaban de la química, sirviendo esencialmente a los intereses de los químicos del área de Nueva York. El número de sus miembros creció al principio, pasando de 230 el año de su fundación a 314 en 1881, pero después disminuyó hasta llegar a un mínimo de 204 en 1889. Una serie de reformas culminaron en la reorganización de 1892, año en el que se puede decir que la American Chemical Society se convirtió realmente en una asociación auténticamente nacional (en 1901 tenía trece secciones locales, de las cuales al menos seis celebraban reuniones mensuales). En 1895 ya contaba con 903 miembros, 1.715 en 1900, 2.919 en 1905, 5.081 en 1910 y 7.170 en 1914, cifras que dan idea de la expansión que estaba experimentando el mercado de trabajo para los químicos, un mercado copado fundamentalmente por la industria química,[140] aunque también el Gobierno Federal respondía empleando más químicos: en 1901 daba trabajo a 22, doce de ellos en el Departamento de Agricultura, y 32 (quince en Agricultura) en 1905; en 1911 la cifra había ascendido a 292, de los que Agricultura todavía se llevaba la gran mayoría, 204, pero en 1916 ya se les necesitaba más y en más lugares, duplicándose el número, 716, de los que 397 trabajaban para Agricultura.[141]

Los físicos se organizaron un poco más tarde, un detalle que puede entenderse como una demostración de que no eran tan útiles a la nación como los químicos. Fue Arthur Gordon Webster, profesor de la Clark University,

que se había graduado en Harvard y obtenido su doctorado con Helmholtz en Berlín, quien reconociendo la ineficacia de la National Academy of Sciences, al menos para la física, lanzó la idea de una American Physical Society en 1899. Ese mismo año, 38 físicos, entre los que se encontraban Henry A. Rowland (Johns Hopkins), que sería elegido presidente, y Albert A. Michelson (Chicago), junto a Josiah Williard Gibbs (Yale), las luminarias de la física norteamericana de la época, se reunieron en la Universidad de Columbia, en Nueva York, para establecer formalmente la organización.142 Como veremos a lo largo de este libro, la física estadounidense llegaría a alcanzar el liderazgo mundial durante el siglo XX, un siglo en el que esa disciplina produjo más descubrimientos fundamentales en la comprensión de la naturaleza que cualquiera de las restantes ciencias naturales, pero en lo que se refiere a la dimensión profesional (lo que quiere decir también, al menos en cierta medida, en lo que se refiere a su «aplicabilidad social»), la química fue por delante de la física.

Que así era, lo podemos comprobar comparando el número de miembros de la American Physical Society con el de la American Chemical Society. En 1909 la sociedad de físicos contaba con 495 miembros, frente a los 4.502 que tenía ese mismo año la de los químicos. Estas cifras muestran la diferencia que existía entre ambas profesiones en Estados Unidos a comienzos de siglo (y tengamos en cuenta que el número de miembros de la American Physical Society se había multiplicado por 5 desde 1901). En 1914 la sociedad de físicos pasó de los setecientos miembros (3.600 en 1939), frente a los 7.170 (y 23.519 en 1939) de la American Chemical Society.

En lo relativo a «productividad científica» (entendiendo por este término, publicaciones científicas), las diferencias fueron menores, lo que se puede explicar por las diferentes potencialidades científicas de ambas disciplinas.

NÚMERO DE FÍSICOS Y QUÍMICOS PRODUCTIVOS143

Físicos

	(1870-1893)	(1894-1915)
Número	[illegible]	[illegible]
Total artículos publicados	[illegible]	[illegible]
Con título de doctor	[illegible]	[illegible]
Doctorado obtenido en el extranjero	[illegible]	[illegible]
Químicos	*(1872-1891)*	*(1894-1914)*
Número	[illegible]	[illegible]
Total artículos publicados	[illegible]	[illegible]
Con título de doctor	[illegible]	[illegible]
Doctorado obtenido en el extranjero	[illegible]	[illegible]

NÚMERO DE FÍSICOS Y QUÍMICOS MENOS PRODUCTIVOS

Físicos	*(1870-1893)*	*(1894-1915)*
Número	[illegible]	[illegible]
Total artículos publicados	[illegible]	[illegible]
Con título de doctor	[illegible]	[illegible]
Doctorado obtenido en el extranjero	[illegible]	[illegible]
Químicos	*(1872-1891)*	*(1894-1914)*
Número	[illegible]	[illegible]
Total artículos publicados	[illegible]	[illegible]
Con título de doctor	[illegible]	[illegible]
Doctorado obtenido en el extranjero	[illegible]	[illegible]

Laboratorios industriales

A finales de siglo, el avance que experimentaba la industria y el comercio comenzó a transformar la ciencia estadounidense. Las manufacturas aportaban un 30 por 100 más a la renta nacional que la agricultura y la minería juntas. Las exportaciones sobrepasaron por primera vez los mil millones de dólares, superando además, por primera vez también, a las importaciones. Al igual que en otras naciones, el conocimiento científico estaba asociado a este desarrollo, y así lo percibían los norteamericanos, que ante el ejemplo de alemanes e ingleses, solicitaron al gobierno la creación de un laboratorio nacional que se ocupara de trabajos de homologación y normalización, que la industria

necesitaba.[144] El 3 de marzo de 1901 se aprobaba una ley por la que se creaba el National Bureau of Standards.

La industria privada reaccionó más pronto y también con mayor amplitud que el Gobierno Federal ante el valor que la ciencia mostraba para la tecnología (esto es, para los negocios). Thomas Edison, no obstante sus limitaciones personales (recordemos que era un inventor hecho a sí mismo, sin una instrucción sistemática), fue uno de los primeros en darse cuenta, al menos parcialmente, de que sus negocios necesitaban la ciencia, y en el espléndido laboratorio que construyó, entre 1886 y 1888, en West Orange, New Jersey, Menlo Park, al que ya me he referido, reunió un plantel de colaboradores, que aunque demasiado variado y probablemente lejos de estar equilibrado, incluía un físico especializado en electricidad, químicos que habían obtenido sus doctorados en Alemania y varios antiguos estudiantes que habían asistido a colleges en los que la ciencia ocupaba un lugar preferente.[145] Durante la primera década del siglo xx unas cuantas firmas de la industria química (en especial Du Pont, en 1902, y Standard Oil de Indiana) abrieron genuinos laboratorios de investigación.[146] A principios de siglo, el presidente de la American Chemical Society podía manifestar con satisfacción: «Todavía no podemos jactarnos como los alemanes de que un único trabajo emplea a más de cien químicos completamente formados..., pero la mayoría de los trabajos más importantes tienen equipos de entre diez y cincuenta químicos, y en muchos otros participan un número menor».

Lo mismo ocurrió en la industria eléctrica y de comunicaciones, donde el valor de la mercancía manufacturada ascendió de 19 millones de dólares en 1889 a 335 en 1914. Durante la primera década de la nueva centuria, los laboratorios de General Electric (GE)[147] y American Telephone and Telegraph (ATT), que hasta entonces sólo habían estado dedicados a trabajos de rutina, se transformaron en centros de investigación y desarrollo (en, respectivamente, 1900 y 1904).[148] El mercado de la

iluminación eléctrica, por ejemplo, estaba completamente abierto a las innovaciones, desde que en 1838 el belga J. B. A. M. Jobard desarrollase un filamento de carbón en el vacío, con lo que comenzaba la historia de la lámpara incandescente,[149] y por ello las industrias que se dedicaban a él tuvieron que recurrir a físicos, que estaban aprovechando este campo para demostrar sus habilidades, como demuestra el ejemplo del químicofísico alemán Walther Nernst (1864-1941), entre cuyos logros se encuentra el denominado «tercer principio de la termodinámica» (en 1922 fue nombrado presidente del Physikalische-Technische Reichsanstalt), quien inventó en 1904 una bombilla de filamento cerámico (cuya patente vendió y obtuvo un importante beneficio económico (un millón de marcos; la bombilla, sin embargo, no constituyó un éxito).[150] Con ellos (con Irving Langmuir, por ejemplo, que había obtenido su doctorado con Nernst), General Electric se dedicó a mejorar las lámparas de wolframio y ATT a desarrollar nuevas lámparas de vacío. Y tuvieron bastante éxito: en GE lograron una lámpara de wolframio más duradera, eficiente y barata que cualquier otra lámpara incandescente existente en el mercado, con lo que la compañía pasó de dominar un 25 por 100 del mercado a un 71 por 100 en 1914. En ATT lograron desarrollar un amplificador de vacío muy eficaz, que era imprescindible para la extensión del servicio telefónico a grandes distancias.

Al principio hubo que vencer la resistencia de los científicos (de los más creativos, sobre todo), acostumbrados a la idea de que su destino era el mundo universitario. Frank Jewett, que llegaría a ser presidente de los laboratorios Bell (fundados en 1925 y que se convirtieron en los laboratorios más famosos y más productivos de la industria basada en la ciencia de todo el mundo), recordaba que cuando comenzó a trabajar para la industria, su mentor, el premio Nobel de Física Albert A. Michelson, pensó «que estaba prostituyendo mi formación y mis ideales».[151] Cuando GE intentó contratar a Willis R.

Whitney, entonces en el Massachusetts Institute of Technology, para que dirigiese su laboratorio de investigación, tuvo que prometerle que podría dividir su tiempo entre GE y el instituto tecnológico ubicado en el Cambridge norteamericano. Pronto, sin embargo, Whitney quedó absorbido (material e intelectualmente) por los problemas que su nuevo trabajo le planteaba.[152] Su experiencia fue compartida por muchos otros científicos, y puede decirse que entre 1910 y 1920 la investigación industrial se consolidó como una ocupación atractiva para los científicos estadounidenses. Aunque, como hemos visto, existían precedentes para este tipo de actuación profesional, especialmente en Alemania y en la química de los colorantes, fue en Estados Unidos donde más se extendieron, diversificaron y afianzaron los laboratorios de investigación, terminando de inaugurar de esta manera una etapa en la historia de la ciencia y la tecnología que lejos de decaer no fue sino intensificándose a lo largo del siglo XX.

Para que nos hagamos idea de cómo fueron creciendo los laboratorios de investigación industriales, las siguientes cifras son representativas. El laboratorio de investigación de ATT aumentó su plantilla de 23 trabajadores en 1913 a 106 en 1916, y su presupuesto de 71.000 a 249.000 dólares. Cuando, en 1916, el laboratorio de GE se trasladó a un nuevo emplazamiento, contaba con las mejores facilidades de investigación en física del país. Antes de la Primera Guerra Mundial, los físicos que trabajaban en laboratorios industriales constituían únicamente una décima parte de los afiliados a la American Physical Society;[153] en 1920, sin embargo, ya constituían un cuarto, y ello teniendo en cuenta que el número de miembros de la sociedad se había duplicado. La proporción de artículos publicados en la principal revista de física del país, *Physical Review,* procedentes de laboratorios industriales (que, recordémoslo, no publicaban todos sus resultados) mostró un aumento parecido: 2 por 100 en 1910, 14 por 100 en 1915 y 22 por 100 en 1920.[154] Veinte años después de la creación del laboratorio de investigación de GE, más de

quinientas empresas norteamericanas habían creado centros de investigación.

Universidades

El sistema educativo superior estadounidense se caracteriza porque la mayoría de las universidades son privadas, al menos las más prestigiosas como —restringiéndome a las más antiguas— Harvard (Cambridge, Massachusets; fundada en 1636), Yale (New Haven; 1701), Pensilvania (Filadelfia; 1740), Princeton (1751), Columbia (Nueva York; 1754), Johns Hopkins (Baltimore; 1875), Cornell (Ithaca; 1865) o Chicago (1890).[155] Esto, y el que cada universidad tenga su propia historia, orientación y fondos, hace que dispongan de una capacidad de reacción mayor ante las necesidades de la sociedad que las cobija, que otros sistemas en los que el patrón dominante es el Estado. Ahora bien, a comienzos del siglo XX, en Estados Unidos el mercado de puestos de trabajo relacionado con la ciencia y la tecnología, con la física y la química, en particular, crecía, como hemos visto, espectacularmente, lo que significó que llegaban cada vez más estudiantes a las universidades para educarse en esos campos. Entre 1890 y 1915, por ejemplo, las universidades estadounidenses concedieron unos doscientos doctorados en matemáticas, trescientos en física y quinientos en química, aproximadamente diez veces más que los otorgados en cada disciplina en el cuarto de siglo precedente.[156]

La mejora de las ciencias físico-químicas en el mundo universitario estadounidense llegó a ser tal que en 1910-1911 el ministro prusiano de Educación estimaba que doce universidades, públicas y privadas, estadounidenses se podían comparar con las veintiuna existentes en Alemania. En cuanto a presupuestos, los centros americanos superaban claramente a los germanos: mientras que el presupuesto anual medio de una universidad alemana era de 1,76 millones de marcos, el de una estadounidense era de 5,8 millones. Los gastos norteamericanos por universidad se

habían cuadruplicado desde mediados de la década de 1890, mientras que en Alemania únicamente se habían doblado. Es cierto que las universidades estadounidenses prestaban especial atención a la educación general, pero como acabamos de ver ya existían también programas de posgrado. En suma, Estados Unidos comenzaba a amenazar a Alemania desde el lado de la educación.

Por si fuera poco, la filantropía privada había empezado a principios de siglo a interesarse por la ciencia. En 1901 y 1902, respectivamente, se establecieron el Institute for Medical Research (Instituto de Investigaciones Médicas), en Nueva York, financiado por el millonario John D. Rockefeller (1839-1937), y la Carnegie Institution, en Washington, D. C.[157] Ambas manejaron durante sus primeros años un capital de unos diez millones de dólares, lo que significaba que producían intereses equivalentes al presupuesto de una de las mayores universidades alemanas. Mientras que el centro auspiciado por Rockefeller se concentró en la biomedicina, el Carnegie proporcionó ayudas a investigadores «excepcionales» en cualquier campo. Fue, sin embargo, a partir de la Primera Guerra Mundial cuando se intensificó realmente la ayuda de las grandes fundaciones a las ciencias físico-químicas.[158]

En suma: la ciencia estadounidense comenzaba a progresar rápidamente. Si nos fijamos, por ejemplo, en el dinero que se invertía en la física en las naciones occidentales hacia 1900, nos encontramos con una cifra importante: 2,5 millones de dólares (o 10,5 millones de marcos).[159] Acaso pueda resultar sorprendente para muchos que fuera Estados Unidos la nación que más invertía en la física: entre 1,5 y 3 veces más de lo que dedicaban, por separado, Alemania, Gran Bretaña y Francia. Y la distancia iba aumentando: las inversiones estadounidenses crecían al ritmo de un 10 por 100 anual, mientras que las alemanas y británicas lo hacían al 5 por 100; a un 2 por 100 las francesas. Aunque estas cantidades son significativas, y ayudan a comprender la situación de hegemonía mundial que posteriormente alcanzaría la

ciencia de Estados Unidos —al margen de «ayudas» como el exilio hacia el nuevo mundo de científicos centroeuropeos (alemanes y austríacos especialmente) debido al antisemitismo nazi—, hay que tener en cuenta también que tomadas como porcentaje del producto nacional bruto, la inversión era la misma (el 0,005 por 100) en las cuatro naciones mencionadas; lo mismo ocurría con el porcentaje de población dedicada a la física universitaria (alrededor de 3 por millón). Pero lo importante es que las diferencias socioeconómicas ya eran muy pequeñas. En este sentido no andaba muy desencaminado el astrónomo Simon Newcomb, presidente del Congreso de Artes y Ciencia que se celebró con ocasión de la Exposición Universal de San Luis de 1904, y que reunió a científicos de la talla de Henri Poincaré, Wilhelm Ostwald, Ludwig Boltzmann, Ernest Rutherford o Paul Langevin, cuando en su alocución inaugural, y entre la retórica habitual, señalaba:160

> Señores, sabios todos:
>
> No visitan nuestras tierras para encontrar grandes colecciones en las que, en lienzo o mármol, se resumen las esperanzas, temores y aspiraciones de siglos de historia. Ni esperan ustedes hallar instituciones y edificios ennegrecidos por el tiempo. Pero al sentir el vigor latente en el aire fresco de estas grandes praderas, que han reunido los productos del genio humano que hoy nos rodean aquí y que, me gustaría añadir, también ha hecho posible que nos reunamos; al estudiar las instituciones que hemos fundado para el beneficio, no sólo de nuestro pueblo, sino de toda la humanidad; al encontrarse con los hombres que en el corto espacio de un siglo han transformado este valle, de su salvaje soledad inicial a lo que es hoy; al apreciar todo esto, digo, podrán encontrar compensación en la ausencia de un pasado como el suyo, contemplando con visión profética la potencia mundial que será esta región.

La difícil institucionalización de la ciencia en España

Me he ocupado en este capítulo de cómo la práctica científica, la ciencia, reforzó su posición social, política y económica «institucionalizándose» durante el siglo XIX. Alemania, Estados Unidos, Francia y Gran Bretaña han sido las naciones en las que he centrado mi atención. Como ya indiqué, es mi propósito, sin embargo, incluir siempre que pueda a España en mis consideraciones, así que dedicaré la parte final de este capítulo a comentar algo de lo que sucedió en España durante el siglo XIX y comienzos del XX.[161] Aparte del interés que ello tiene para lectores españoles, existe otro motivo más general. Habitualmente los textos de historia de la ciencia de esas dos centurias se detienen únicamente en las grandes naciones y científicos, ya que fue allí y fueron ellos los que más aportaron al desarrollo de la ciencia. Ahora bien, si se pretende comprender realmente la dinámica de ese desarrollo es preciso considerar también a otras naciones, en particular aquellas que teniendo tras de sí una larga historia no brillaron tanto —o prácticamente nada— en lo que a la construcción de la ciencia se refiere. ¿Por qué no lo hicieron? ¿Cuáles fueron las causas de su atraso científico? Si deseamos responder a preguntas como éstas, pocas naciones son más adecuadas que la España decimonónica y la que fue abriéndose camino en el siglo XX.

Que la situación de la ciencia hispana en el XIX fue, efectivamente, mala es algo fácil de demostrar. Utilizaré, como punto de partida, una cita debida a la pluma de José Echegaray (1832-1916), el ingeniero de Caminos, matemático, físico-matemático, divulgador científico, dramaturgo, economista y político, que alcanzó en todas estas actividades renombre: número uno de su promoción en la Escuela de Ingenieros de Caminos, en la que más tarde fue profesor de diversas materias, ministro primero de Fomento y de Hacienda después, ateneísta distinguido,

figura prominente en la creación (con, esencialmente, las funciones que hoy desempeña) del Banco de España, académico de Ciencias y de la Española, presidente del Ateneo de Madrid, del Consejo de Instrucción Pública, de la Junta del Catastro, de la Real Academia de Ciencias, de la Sociedad Española de Física y Química, de la Sociedad matemática Española y de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, premio Nobel de Literatura, catedrático de Física matemática en la Universidad Central, o senador vitalicio. Títulos que ningún otro español, de su época, de antes o de después, ha conseguido reunir.

Sé muy bien que Echegaray no es recordado como científico, como matemático o físico-matemático, sino como literato. Sin embargo, según algunos fue el mejor matemático español del siglo XIX, aunque nada nuevo aportó, únicamente —aunque también nada más y nada menos— introdujo en España algunas de las nuevas teorías matemáticas (como las de Galois) que se estaban abriendo camino (o que se habían abierto camino ya) en el universo matemático internacional, pero pudo, acaso, ser mucho más que eso; mucho mejor matemático. ¿Por qué no lo fue? Recordemos lo que él mismo escribió (entre 1913 y 1915) en sus memorias:[162]

> Las Matemáticas fueron, y son, una de las grandes preocupaciones de mi vida; y si yo hubiera sido rico o lo fuera hoy, si no tuviera que ganar el pan de cada día con el trabajo diario, probablemente me hubiera marchado a una casa de campo muy alegre y muy confortable, y me hubiera dedicado exclusivamente al cultivo de las Ciencias Matemáticas. Ni más dramas, ni más argumentos terribles, ni más adulterios, ni más suicidios, ni más duelos, ni más pasiones desencadenadas, ni, sobre todo, más críticos; otras incógnitas y otras ecuaciones me hubieran preocupado.
>
> Pero el cultivo de las Altas Matemáticas no da lo bastante para vivir. El drama más desdichado, el crimen teatral más modesto, proporciona mucho más dinero que el más alto problema de cálculo integral; y la obligación es antes que la devoción, y la realidad se impone, y hay que dejar las Matemáticas para ir rellenando con ellas los huecos de descanso que el trabajo productivo deja de tiempo en tiempo.

Echegaray se refería a las matemáticas, pero la situación no variaba demasiado en las restantes ciencias. Así que, volvamos a la pregunta anterior, ¿por qué la España decimonónica no se incorporó al desarrollo, científico e institucional, que contempló entonces la ciencia?

Inestabilidad política

Una razón muy importante se encuentra en la política. Resulta que la situación en que se hallaba España entonces hizo que fuese muy difícil que pudiese unirse a las naciones que destacaron en la empresa científica. La inestabilidad política que plagó el siglo XIX hispano, en el que no faltaron ni guerras ni revoluciones, al igual que diferentes regímenes políticos (monarquía y república) fue colosal, y la investigación científica necesita —o al menos se ve muy favorecida— una situación política estable. Así, la guerra de la Independencia, con la que prácticamente comenzó el siglo, significó un abrupto final para los esfuerzos de renovación científica llevados a cabo durante el siglo XVIII, el Siglo de las Luces, o de la Ilustración. Aunque los extremos pocas veces son completamente representativos, conviene recordar lo que le ocurrió al Real Observatorio de Madrid. Transformado en cuartel por los franceses, su excelente telescopio Herschel fue desmontado para aprovechar su madera, y su archivo saqueado para encender fuego en torno al cual las tropas francesas pudieran calentarse durante el invierno. El final de la guerra no significó, sin embargo, un retorno a la situación de la Ilustración, aunque en el primer período absolutista de Fernando VII se pensase en restaurar algunas de las instituciones de la época de Carlos IV. La sublevación de Riego, el Trienio Liberal, el regreso al poder de Fernando VII, las guerras carlistas y las continuas crisis de gobierno explican el que hasta pasada la mitad del siglo, ya en el reinado de Isabel II, no comenzase a mejorar la situación.

Si conveniente es la estabilidad política para el desarrollo científico, no menos lo es el que no se convierta en arma política, ya que ello implica que no forma parte del «discurso civil», del conjunto de valores que acepta el conjunto de la sociedad. Y en este punto hay que señalar que el siglo XIX hispano no fue especialmente propicio en este sentido. El motivo es que la fe en la ciencia estuvo entonces muy relacionada con ideas y círculos políticamente progresistas, en particular a partir de la revolución de 1868, de «La Gloriosa», durante el Sexenio Revolucionario (1868-1874). El período constituyente es pródigo en ejemplos. En las Cortes se pudieron oír intervenciones como las del médico catalán y revolucionario Francisco Suñer y Capdevila, que el 26 de abril de 1869 intervino en el debate parlamentario con manifestaciones como las siguientes:[163] «Cuando el gobierno provisional se presentó aquí por primera vez, nos dijo que la idea nueva venía a sustituir en España la idea caduca... Ni el gobierno ni la Comisión han comprendido lo que es la *idea nueva*, y yo voy a decírselo. La *idea caduca* es la fe, el cielo, Dios. La *idea nueva* es la ciencia, la tierra, el hombre. Yo me complazco en proclamarlo así desde el último banco de la minoría republicana, porque ésta es la aspiración de mi vida: en veinticinco años no he deseado otra cosa que poder proclamar estas ideas, que no son mías, no; no se me atribuyan: no las he creado; no las he sentido yo. Las he observado y estudiado en los autores eminentes».

Otro ejemplo que muestra esta asociación entre ciencia e ideología lo encontramos en algunos pasajes del discurso de ingreso (1866) en la Real Academia de Ciencias de Madrid de José Echegaray. Brevemente expuesta, la tesis que defendió Echegaray en su discurso es que mientras que España había tenido grandes literatos, artistas, militares, músicos, filósofos, navegantes y conquistadores, jamás había tenido un matemático de categoría. «La ciencia matemática», manifestó entonces, «nada nos debe: no es

nuestra; no hay en ella nombre alguno que labios castellanos puedan pronunciar sin esfuerzo.» Es cierto, por supuesto, que desde un punto de vista historiográfico el nuevo académico manejaba un concepto muy estrecho, o elitista, de matemática —implícito en su exposición estaba el que matemática era lo que habían producido, creado, hombres como Pitágoras, Tartaglia, Descartes, Newton, Leibniz, Monge, Lagrange, Abel, Cavalieri, Euler, Moivre, Fourier, Jacobi, Cauchy, Gauss, Galois, o similares—, y sabemos que ni la matemática ni ninguna otra ciencia se puede reducir a tales términos, que la historia de una actividad, sea ésta la que sea, no se puede limitar a la historia de sus más distinguidos exponentes, pero aun así, podemos entender lo que pretendía decir el autor de *El gran galeoto*. Intentaba, además, Echegaray, llamar la atención sobre otro de los problemas que, en su opinión, habían tenido que ver con la pobre historia de la ciencia española. Señalaba, en este sentido, que España no podría tener ciencia mientras no se conquistase en ella «la libertad filosófica, que es la libertad del pensamiento», concluyendo con amargura que la historia de la ciencia que estaba repasando no era, ni podía ser, la de una nación en la que «no hubo más que látigo, hierro, sangre, braseros y humo».[164]

Más importancia para la historia de la ciencia en España que estos ejemplos aislados,[165] aunque participando, al menos en parte, del espíritu que los animaba, tiene la Institución Libre de Enseñanza. Sin entrar en su historia, es conveniente recordar que su origen está unido a consecuencias del pronunciamiento, en Sagunto el 29 de diciembre de 1874, del general Martínez Campos, que acabó con el gobierno en el que constitucionales y liberales habían ejercido el poder a lo largo de 1874, y restauró la dinastía borbónica en la persona del príncipe Alfonso. Regresó entonces, en el primer gobierno presidido por Cánovas, al Ministerio de Fomento el marqués de Orovio, que colaboró en imponer los criterios del sector más intransigente del catolicismo español. Así, el 28 de

febrero de 1875 apareció un Real Decreto que incluía una circular dirigida a los rectores de las universidades. Según esta circular, los profesores no debían hacer manifestación alguna que pudiera considerarse contraria a la monarquía recién instaurada, ni a la religión católica, única confesión religiosa aceptada por el Estado; asimismo, se imponía la obligatoriedad de asistencia a clase para el alumnado, al igual que otros detalles como el de que los profesores debían aceptar y seguir los libros de textos impuestos desde el ministerio.

El contenido de estos textos fue rechazado por algunos, comenzando por dos jóvenes profesores de ciencias de la Universidad de Santiago: Augusto González de Linares (1845-1904), catedrático de Historia natural desde julio de 1872, y Laureano Calderón (1847-1894), catedrático de Farmacia químico-orgánica desde mayo de 1874, que contestaron a primeros de marzo a la circular cursada por su rector con una negativa rotunda. El 12 de marzo, Francisco Giner de los Ríos se adhería a ambos con un escrito dirigido al rector de la Universidad Central, en Madrid, de la que era catedrático. También se solidarizaron Nicolás Salmerón y Gumersindo de Azcárate. El gobierno reaccionó deteniendo a Giner, que sería trasladado a Cádiz, donde fue encerrado en la prisión militar, y desterrando a Salmerón a Lugo y a Azcárate a Cáceres. Ante las protestas de González de Linares y de Calderón, éstos fueron detenidos, durante unas horas, en el castillo de San Antón de la Coruña. En total fueron 39 los profesores que protestaron en toda España, de ellos fueron sancionados 19, entre ellos, por supuesto, los cinco citados, que fueron apartados de sus cátedras.

Como consecuencia de la situación que se produjo, surgió la idea de crear una «Universidad libre» española en Gibraltar, proyecto que no prosperó, dejando su lugar a algo más modesto, fuera del ámbito universitario y dentro del secundario, pero que influiría de forma muy notable en la historia española: la Institución Libre de Enseñanza, en la que la ciencia desempeñó un papel importante, como

prueba el punto primero de las «Bases generales de la Asociación»: «Se constituye una Sociedad, cuyo objeto es fundar en Madrid una Institución Libre, consagrada al cultivo y propagación de la ciencia en sus diversos órdenes, especialmente por medio de la enseñanza». Una ojeada superficial al *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* muestra que la enseñanza de la ciencia no se limitó a las clases dentro de la Institución, sino a través de numerosos artículos, algunos de los cuales no eran en modo alguno elementales. No podemos olvidar tampoco que durante la primera década de la Restauración, muchos de los más eminentes científicos de Madrid mantuvieron relaciones con la Institución: González de Linares, por supuesto, Salvador Calderón (geólogo), Luis Simarro (neurólogo), Lucas Mallada (ingeniero de Minas), e incluso Santiago Ramón y Cajal, la gran gloria de la ciencia española.

Ciencia e industria

Junto a la inestabilidad política y la lucha ideológica, otro de los motivos del retraso científico de España se encuentra en la relación entre ciencia y tecnología.

En el siglo XIX, España fue un país centrado en la agricultura, con una industria muy poco desarrollada. En la balanza comercial hispana primaban, a gran distancia, las exportaciones de productos agrícolas o minerales, mientras que tenía que importar la mayor parte de los productos que implicasen algún refinamiento técnico. Y todo parece indicar que sin una industria poderosa y creativa existen graves problemas para desarrollar una ciencia que también sea poderosa y creativa. Muchos sostienen que lo primero es la ciencia —la ciencia *básica* o *pura*, dicen— que al aplicarse, esto es, al hacerse ciencia *aplicada*, produce tecnología, y a través de ésta riqueza. Desde este punto de vista, lo primero es la ciencia, a la que seguirá más tarde la tecnología, la industria. Sin embargo, no es así, desde luego no siempre (ya hemos visto algún ejemplo). En conjunto, el avance científico necesita el estímulo y los medios que

ofrece una industria saludable y activa. No se trata sólo de ofertas de trabajo para científicos, ni tampoco de que la industria financie investigaciones de científicos universitarios, que de esta manera ven aumentadas sus posibilidades. Ambas cosas son convenientes, necesarias, por supuesto, pero más importante es una industria que plantee problemas a la comunidad científica nacional, y que haya llegado a un estadio de desarrollo que haga que disponga de instrumentos, de tecnología avanzada, de «última generación», a la que puedan acceder los investigadores mal llamados «puros».

Y si hablamos de industria, hay que hablar de economía.

A pesar de que, como han insistido Juan Pablo Fusi y Jordi Palafox, la economía liberal se consolidase en la España del período que va de 1808 a 1874, y que se formara cierta base industrial a continuación, a efectos de la economía y la ciencia que necesitaba la ciencia, y salvo en el caso catalán, para la física y la química es más cierta la tesis de Jordi Nadal de que España fracasó en sus intentos de tomar parte en la Revolución Industrial que de manera, en muchos aspectos, tan radical modificó la situación socioeconómica europea; en este sentido, un dato importante es que la balanza comercial española muestra que en el dominio tecnológico predominaban con mucho las importaciones; las exportaciones eran fundamentalmente de productos agrícolas y, sobre todo, de minerales.166 En la medida en que capitalismo e industrialización recorren caminos parecidos, la situación de la España del Ochocientos ha sido razonablemente bien resumida por Miguel Artola:167 «La economía de base agraria que los liberales reorganizaron dio paso con gran rapidez a las manifestaciones de un capitalismo incipiente, que se desarrollará con gran lentitud en todos los sectores, a excepción del ferrocarril, de forma que se ha podido decir con justicia, si se toma en cuenta la importancia del sector capitalista de la economía en la formación de la renta nacional, que la formación del capitalismo es en España un

fenómeno del siglo XX».

Y si es cierto, como de hecho estoy sugiriendo, que capitalismo e industrialización son elementos particularmente importantes en la institucionalización y desarrollo de la ciencia, de, en particular, las ciencias físico-químicas durante el siglo XIX, se podría parafrasear a Artola diciendo que «las condiciones necesarias para que se pudiese aspirar a una implantación medianamente satisfactoria de las ciencias físico-químicas, tal y como se fueron configurando a lo largo del siglo XIX, no se dieron en España hasta el siglo XX».

El caso de la química, que tan importante fue, como hemos visto, para la institucionalización de la ciencia durante el siglo XIX, muestra rasgos fáciles de entender en un contexto que favorece interpretaciones en las que la «razón socioeconómica» influye fuertemente en el estado de la ciencia. Si se repasan los repertorios de libros publicados en esa ciencia, se detecta inmediatamente la conexión con los intereses, de escaso refinamiento tecnológico, existentes en la España de aquella época. Así, tenemos que cuando se analizan los títulos de los libros y folletos de esa ciencia publicados entre 1901 y 1900, la abrumadora mayoría tienen que ver con cuestiones aplicadas del tipo de:168 *El libro del viticultor. Breve resumen de las prácticas más útiles para cultivar las viñas y fabricar buenos vinos* (Madrid, 1855), de Eduardo Abela Sainz de Andino, *Apuntes de hidrología médica general, química y biología hidrológica, según el programa de oposición para el ingreso en el Cuerpo de médicos directores de baños* (Valencia, 1896), de Francisco Aguilar Martínez, *Tratado de química agrícola* (1896), de Francisco Balaguer Primo, *Tratado de química práctica y casera, o colección de recetas: 1o, para fabricar licores; 2o, para corregir el mal gusto de los vinos y hacer excelentes vinos extranjeros con vino del país; 3o, para componer varios barnices; 4o, para hacer diversos objetos de perfumería, etcétera* (Valladolid, 1843), de Antonio Bellout, o *Tratado práctico de análisis químico de las aguas minerales y potables; con indicación de las fuentes de aguas minerales de España, su composición,*

enfermedades a cuya curación se aplican, y número de enfermos que a ellas acuden anualmente (Madrid, 1866), de Antonio Casares Rodrigo.

En una nación abrumadoramente agrícola, que dependía de importaciones del extranjero en lo que al mundo industrial y tecnológico se refiere, no es extraño que el mercado de trabajo para físicos fuese muy reducido. De hecho, la escasez de puestos de trabajo afectó incluso a los ingenieros, más prestigiosos y capaces tecnológicamente que los licenciados de las Facultades de Ciencias. Gumersindo Vicuña señaló este punto en su discurso de apertura del curso 1875-76 de la Universidad Central:169 Las Escuelas de Ingenieros, declaró entonces, «las más brillantes en un tiempo, aquellas a que concurría la flor de nuestra juventud, y cuyos rigurosos estudios produjeron ingenieros de tanto mérito, viven hoy lánguidamente, sin alumnos entre quienes escoger, sombra pálida y triste reflejo de su antiguo esplendor... Hoy, los alumnos que pasan al cuerpo, tropiezan con excedencias o falta de ocupación, y tienen que ejercitar su actividad individual luchando con los ingenieros antiguos en nuestra aniquilada producción. Falta el porvenir, languidece la escuela».

Y si esto era así para los ingenieros, ¿qué no ocurriría con los científicos? Los «Licenciados y Doctores de las Facultades de Ciencias», añadía Vicuña, «sólo pueden aspirar a cátedras de Instituto o Facultad, modestamente retribuidas, y después de obtenerlas por una oposición con sus compañeros o con los mismos ingenieros, mientras que éstos reclutan su profesorado entre los que el gobierno cree más aptos sin oposición ninguna. Si quieren entrar en la mayoría de las escuelas civiles de estos ingenieros, o en las militares, no se les abona una sola asignatura de las que han aprobado, y hasta recientemente se ha visto que la Escuela de Ingenieros militares ha admitido las ganadas en ciertas Escuelas especiales y no las universitarias análogas, ni las de las Escuelas de Arquitectura e Ingenieros industriales en las que sirven las enseñanzas universitarias».

El Instituto Geográfico constituye un buen ejemplo de

la penuria laboral de los físicos y matemáticos españoles. Reclutaba su personal superior entre los cuerpos facultativos, militares y civiles, preferentemente entre los primeros, sin conceder un solo puesto a los doctores en ciencias, que habían cursado la astronomía y geodesia en que se supone se basaban los problemas centrales del Instituto, mientras que los facultativos citados no habían tenido que estudiar en sus escuelas ambas asignaturas con la extensión que se hacía en la universidad. Los doctores de Ciencias solamente tenían la posibilidad de intentar acceder a las plazas inferiores del Instituto mediante oposiciones.

Una excepción: Santiago Ramón y Cajal

He estado refiriéndome a la pobre situación de la ciencia española a lo largo del siglo XIX, y alguno pensará que es preciso hacer al menos una salvedad: la de Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), que iluminó la ciencia hispana como ningún otro compatriota suyo lo ha hecho, antes o después de él. Es, bajo cualquier vara de medir, uno de los grandes de la ciencia de todos los tiempos, de esos pocos cuyo nombre no podrán olvidar los libros de historia de la ciencia que se escriban en el futuro, aunque se trate de un futuro muy lejano. El único español en ese selecto y reducido grupo. Recibió también, recordemos, el premio Nobel de Medicina o Fisiología en 1906, compartido con el italiano Camillo Golgi, por sus contribuciones a la estructura (neuronal) del sistema nervioso.

Sin entrar en la biografía de Cajal, diré que para lo que me interesa aquí es preciso darse cuenta de que su caso es diferente: estudió medicina y la situación de esta disciplina, aunque precaria, no era, no podía ser, igual que la de otras ciencias. De hecho, a pesar de que él superase con creces a cualquiera de sus predecesores, se puede decir que Cajal tuvo maestros, o al menos algunos profesores o colegas con los que pudo relacionarse y obtener alguna ayuda. Así, cuando decidió obtener el título de doctor, algo que necesitaba si quería llegar a ser catedrático de universidad,

como deseaba su padre, y como tal grado únicamente se podía conseguir en la Universidad Central, en Madrid, tuvo que cursar allí tres asignaturas: Historia de la medicina, Análisis químico e Histología normal y patológica, además de pronunciar un «discurso».

Ahora bien, al contrario que otros Cajal, obligado por su padre, no se fue a Madrid, a pasar el curso en la capital, sino que se matriculó como alumno libre, y al llegar junio (1877) marchó a la capital a examinarse. Y allí conoció a Aureliano Maestre de San Juan (1828-1890), cabeza de la histología universitaria española en la generación anterior a la de Cajal, que le inició en los estudios micrográficos.[170] «Sugestionado», escribió en sus *Recuerdos*, «por algunas bellas preparaciones microscópicas que el doctor Maestre de San Juan y sus ayudantes (el doctor López García entre otros) tuvieron la bondad de mostrarme, y deseoso, por otra parte de aprender lo mejor posible la Anatomía general, complemento indispensable de la descriptiva, resolví, a mi regreso a Zaragoza, crearme un laboratorio micrográfico. Contando con la bondad inagotable de don Aureliano Maestre, aprobé finalmente la Histología; pero no había visto preparar, ni era capaz de efectuar el más sencillo análisis micrográfico.»[171]

Cajal tuvo, por consiguiente, maestros (otro muy importante fue, más tarde, Luis Simarro). Y este hecho me permite insistir en lo que decía antes: de que Cajal, aun dentro de su extraordinaria singularidad, no surgió de la nada; tuvo maestros, sin los cuales acaso no habría llegado a ser lo que fue. Semejante circunstancia, y éste es el punto que yo quiero destacar, se debe a que su ámbito profesional fue la medicina. La aparición de un Cajal en física, química o matemáticas habría sido mucho más difícil. Y es que un país puede pasar, malamente, eso sí (y más aún a partir del siglo XX), sin físicos, químicos o matemáticos, salvo algunos que se limiten a transmitir algunas enseñanzas, pero no sin médicos. De hecho, Cajal pasó por cuatro universidades en las que se enseñaba la medicina, Zaragoza, Valencia, Barcelona y Madrid, y a pesar de las diferencias entre ellas,

y de las carencias que sin duda existían, en todas encontró colegas y aprendió algo, y en todas pudo apañárselas para, poco o mucho, con enormes dificultades casi siempre —hasta que, naturalmente, se convirtió en el gran héroe nacional—, encontrar el modo de iniciarse en o practicar su arte, el de la investigación histológica. Vaya, a modo de ejemplo, lo que escribió en la segunda parte de sus memorias sobre los colegas con que se encontró en la Facultad de Medicina de Valencia (a la que se incorporó como catedrático de Anatomía general y descriptiva en enero de 1884):172 «Brillaban en el elenco docente maestros tan prestigiosos como Campá, Gimeno, Ferrer y Julve, Peregrín Casanova, Gómez Reig, Orts, Magraner, Machi, Crous y Casellas, Moliner, etcétera». Dudo que existiera por entonces universidad española alguna en que se pudiera decir algo semejante en relación con la física, la química o la matemática.

Es obligado señalar también que no obstante esa tradición, los médicos que se afanaban en la investigación también sufrían de graves carencias. De nuevo, el caso de Cajal puede servir para ilustrar semejante hecho. Utilizaré en este sentido una carta que el sabio de Petilla de Aragón escribió al jesuita Antonio Vicent Dolz (1837-1902).

Nacido en Castellón, Vicent estudió Derecho en la Universidad de Valencia y ejerció como abogado hasta que en 1861 ingresó en la Compañía de Jesús. Una vez completado el noviciado cursó la licenciatura de Ciencias en la Universidad de Sevilla y a continuación enseñó historia natural, física y matemáticas en el Colegio de San Ignacio, en Manresa. Destinado a Valencia, después de unos años en los que llegó a ser la principal figura española del denominado «catolicismo social» (en Manresa fundó en 1865 un Círculo Católico de Obreros), lo que le acarreó tener que pasar siete años exiliado en Francia tras la Revolución de 1868, se convirtió en uno de los primeros discípulos de Cajal.173 A finales de 1884 se trasladó a Lovaina para completar su formación con el citólogo Jean Baptiste Carnoy, y un año después fue adscrito al colegio de

San José, en Valencia, donde trabajó hasta su muerte. La carta que Cajal le escribió desde Valencia, el 1 de enero de 1885, y de la que cito algunos pasajes, data del período en que Vicent estaba en Lovaina.[174]

> Mi querido P. Vicent.
>
> Recibí la suya con gran contento, si bien no dudaba nunca que me escribiría Vd. y por ella veo lo satisfecho y complacido que V. está al lado de esos sabios.
>
> Yo quisiera también imitarle a V. pero las circunstancias me lo impiden, teniendo que resignarme a ver y seguir aunque de lejos el movimiento científico de la Alemania y de la Bélgica.
>
> Casi todos estos tres últimos meses los he consagrado al estudio del núcleo y del protoplasma, y he tenido la dicha de comprobar casi todos los detalles estructurales que describen Fle[m]ming y Carnoy con algunos otros de mi propia cosecha que verán la luz cuando pueda publicarlos.

Y en este punto Cajal enviaba a Vicent algunos de sus dibujos y hallazgos, para añadir más adelante:

> No puedo extenderme en estas cosas porque me saldría de los límites de una carta amistosa, baste lo dicho para darle a entender que aunque V. trabajaba al lado de sabios ilustres yo he hecho lo que he podido también. ¡Ah! ¡Quién tuviera esos magníficos objetivos a que Fle[m]ming, Strassburger y Carnoy deben sus descubrimientos! ¡Quién pudiera poseer un Seibert 1/6 o un Zeiss 1/18! Aquí desgraciadamente las facultades no tienen material y, aunque yo me empeñara en pedir uno de esos objetivos, no me lo permitiría el decano por falta de fondos. Mucho envidio más aún esa riqueza de medios técnicos de que Vs. gozan, con la que se hace cuanto se quiere. Yo tengo que resignarme con un objetivo 8 de inmersión Verick y éste gracias a que es de mi propiedad, que por la Facultad no tendría más que un 5 o un 6 Nachet.

Cajal, en definitiva, miraba con envidia las facilidades materiales de que disponían sus colegas extranjeros.

El poder de la ciencia y la pérdida de Cuba

En la historia de España en el siglo XIX y comienzos del XX, un episodio destaca por sus consecuencias: la pérdida, en 1898, de Cuba en la guerra contra Estados Unidos y con ella de los últimos vestigios del antiguo imperio americano colonial español. Como veremos en esta sección, algunos asociaron la derrota con la situación de la ciencia hispana, que es tanto como decir que se dieron cuenta de uno de los aspectos del «poder de la ciencia».

Para introducir esta cuestión, seleccionaré la manera como lo trató Ramón y Cajal, que fue un gran patriota toda su vida.

Pocos, si es que alguno, en España no se sintió afectado por la derrota de España frente a Estados Unidos. Cajal también sufrió de aquella pérdida. En sus memorias, se refirió a este suceso en los siguientes términos:[175]

> Mi obra científica durante el año de 1898 fue bastante parca y pobre en hechos nuevos. Compréndese fácilmente: fue el año de funesta y vesánica guerra con los Estados Unidos... A ella dieron ocasión, sin duda defectos hereditarios del carácter nacional... pero más que nada nos arrastró a la catástrofe la vergonzosa ignorancia en que vivían nuestros partidos de turno de la magnitud y eficiencia reales de las propias y de las ajenas fuerzas. Porque, aunque parezca absurdo, por entonces, diputados, periodistas, militares, etc., creían de buena fe que nuestros instrumentos bélicos en Cuba y Filipinas —buques de madera y ejército de enfermos— podían medirse ventajosamente con los formidables de que disponía el enemigo...
>
> El recuerdo del desastre colonial hállase vinculado en mi memoria, por asociación cronológica, con la redacción de un trabajo de tendencias filosóficas acerca de la organización fundamental de las *vías ópticas* y la probable *significación de los entrecruzamientos nerviosos*, una de las disposiciones anatómicas más singulares y enigmáticas de los vertebrados.
>
> Estábamos a la sazón veraneando en compañía del inolvidable [Federico] Olóriz [Aguilera], en el pintoresco pueblo de Miraflores de la Sierra... A menudo, fatigados de paliquear o de leer, nos entregábamos al juego del ajedrez, al que don Federico era muy aficionado... Al atardecer, ahítos de lecturas o vibrantes con las peripecias del juego, solíamos descongestionar el cerebro paseando por la carretera... Durante

> tan saludables correrías, placíame comunicar a mi compañero el fruto de mis meditaciones. Y alentado y autorizado con la aprobación del amigo, estaba a punto de terminar la redacción de mi trabajo, cuando en nuestro apacible retiro cayó como una bomba la nueva horrenda y angustiosa de la destrucción de la escuadra de Cervera y de la inminente rendición de Santiago de Cuba.
>
> La trágica noticia interrumpió bruscamente mi labor, despertándome a la amarga realidad. Caí en profundo desaliento. ¿Cómo filosofar cuando la patria está en trance de morir?... Y mi flamante teoría de los entrecruzamientos ópticos quedó aplazada *sine die*.
>
> Aquel desfallecimiento de la voluntad —que fue general entre las clases cultas de la nación— sacóme del laboratorio, llevándome meses después, cuando la conciencia nacional sacudió su estupor, a la palestra política. La prensa solicitaba apremiantemente la opinión de todos, grandes y chicos, acerca de las causas productoras de la dolorosa caída, con la panacea de nuestros males. Y yo, al igual que muchos, jóvenes entonces, escuché la voz de la sirena periodística. Y contribuí modestamente a la vibrante y fogosa literatura de la regeneración, cuyos elocuentes apóstoles fueron, según es notorio, el gran Costa, Macías Picavea, Paraíso y Alba. Más adelante sumáronse a la falange de los veteranos algunos literatos brillantes: Maeztu, Baroja, Bueno, Valle-Inclán, Azorín, etcétera.

Y añadía más adelante: «Los regeneradores del 98 sólo fuimos leídos por nosotros mismos: al modo de los sermones, las austeras predicaciones políticas edifican tan sólo a los convencidos. ¡La masa permanece inerte!».

No es seguro, sin embargo, que la reconstrucción que Cajal hacía en sus memorias se ajuste completamente a la realidad. Una evidencia notable en este sentido es la carta que escribió a su colega sueco Gustav Retzius el 10 de septiembre de 1898, en la que manifestaba, recordando al mismo tiempo sus años cubanos:176

> Mi querido amigo: A pesar de la guerra desgraciada que España sostiene, no he perdido las ganas de trabajar. He publicado el 2° cuaderno del libro del sistema nervioso (del cual supongo habrá V. recibido un ejemplar) y preparo el 3°, así

como los dos primeros números de la Revista trimestral. Es que a mí, como a casi todos los españoles, no nos ha causado la noticia de la guerra el menor entusiasmo por ser una contienda en que España si hubiera triunfado no podría ganar nada, y en que, al ser vencida (cosa de que todos presumíamos) ganaba positivamente una cosa: el quedarse sin unas colonias que son el sepulcro de nuestra raza. En la pasada guerra de Cuba, España perdió por enfermedades causadas por el clima más de 200.000 hombres; y en la actual lleva perdidos más de 60.000 de paludismo y disentería. En condiciones tales es imposible mantener una colonia; y si nuestros gobiernos hubieran tenido sentido común hace años habría sido reconocida la independencia de la Isla: pues perdido el amor de los criollos es seguro que cada 10 o 12 años se renovaría la sedición tanto más cuanto que cubriendo los bosques una gran parte del territorio de aquella Antilla es fácil a cualquier grupo de insurrectos burlar casi indefinidamente la vigilancia de las tropas. Nuestra derrota no ha sido pues tan sentida como lo hubiera sido en otras circunstancias porque nos librará para siempre del triste espectáculo de ver nuestros jóvenes llegar a millares tuberculosos o anémicos al abandonar el servicio de Cuba; y sin otra compensación que enriquecer a unos cuantos fabricantes catalanes y a algunos empleados corrompidos y venales, que al hacer su negocio en las colonias han suscitado en éstas un odio a España que nada puede disipar.

Para que se forme V. idea del estado de las tropas que se batieron en Santiago de Cuba y en general de todos nuestros soldados de las Antillas, no tiene V. más que observar que cada barco de los actualmente destinados a la repatriación de los mismos, tiene que arrojar por defunción más de 100 cadáveres durante la travesía, a lo que debe añadirse que con los sanos, al parecer, se llenan los hospitales. De todo esto tiene culpa el clima pero sobre todo una administración corrompida que ha gastado más de dos mil millones de pesetas durante la guerra para alimentar al soldado exclusivamente con arroz y sardinas. Así se concibe que el soldado estuviese tan abatido que no tenía fuerzas ni para sostener el fusil. El grito del soldado en Santiago de Cuba era: «Dejarnos morir en nuestras trincheras pues no tenemos fuerzas para retirarnos».

Yo fui médico-militar durante la guerra de Cuba de 1874 (guerra que duró diez años) y vine como todos gravemente enfermo de paludismo y puedo decir que a pesar de los años transcurridos no he llegado todavía a una salud completa. Calcule V. ahora el gusto con que yo habré visto el necio

> empeño de nuestro país en mantener una colonia que es inhabitable para nuestra raza, y en donde sólo el negro prevalece; colonia además codiciada por los Estados Unidos contra los cuales no era posible que nosotros lucháramos; porque la gran superioridad de su Marina hacía imposible socorrer a las tropas de la Isla, las cuales habrían de sucumbir de hambre dado que Cuba no produce sino artículos de lujo (café, tabaco, cacao y azúcar) y ninguno de los que forman la alimentación habitual del europeo.

Volviendo a la pérdida de Cuba, tenemos que, de todas maneras, algo sí le afectó, y, tal y como señalaba en sus memorias, salió, en efecto, a la palestra pública a través de los periódicos. Pero ¿qué dijo entonces?

Uno de los artículos de Cajal escritos inmediatamente después de la derrota apareció en *El Liberal* del 26 de octubre de 1898. Es oportuno citar parte de su contenido.[177]

Para Cajal, los remedios contra los males que aquejaban a España, y que se habían manifestado en la derrota consistían en: «Renunciar para siempre a nuestro matonismo, a nuestra creencia de que somos la nación más guerrera del mundo. Renunciar también a nuestra ilusión de tomar por progreso real lo que no es más que un reflejo de la civilización extranjera: de creer que tenemos estadistas, literatos, científicos y militares; cuando salvo cual excepción, no tenemos más que casi estadistas, casi literatos, casi sabios y casi militares». Había, añadía, que «prescindir de la ilusión de creer que la raza latina debe gobernarse como la sajona o someterse a las mismas leyes o métodos políticos. La raza latina, particularmente la hispana, es muy poco apropiada para el ejercicio de las libertades modernas; indisciplinada, novelera, fanfarrona, indócil, su carencia casi absoluta de sentido político la condena a una tutoría constante».

No era Cajal el único que argumentaba de esta manera. Así, en su célebre libro, *El problema nacional* (1899), escrito muy poco tiempo después del «Desastre», Ricardo Macías Picavea (1846-1899) manifestaba:[178] «Sigue abundando entre los togados la garrulería verbosa, investigadores

originales, experimentalistas concienzudos, laboradores del conocimiento positivo en la literatura, en la historia, en la filología, en la física, en la química, en la biología, en el derecho... ¿dónde los hay? Puede que lleguen hasta una docena de nombres propios, y tres o cuatro institutos académicos o científicos; siempre, eso sí, en condiciones harto modestas y precarias por el vacío asfixiante de que se ven rodeados». Y luego concluía:

> Nuestra cultura es sólo cultura de segunda mano, epidérmica, yuxtapuesta, no nacional, advenida casi exclusivamente por el arcaduz francés.
>
> Llegan escasamente a media docena los espíritus independientes e investigadores originales que crean y fundan en España...
>
> ¿Cuántos científicos hay que manejen con ciencia propia la alta experimentación física?
>
> ¿Cuántos capaces de regir un laboratorio de química honda y fina en el amplio y maravilloso campo que hoy tiene conquistado?
>
> ¿Cuántos que dominen la técnica del microscopio y de la experimentación biológica, en cualquiera de sus múltiples y asombrosas aplicaciones?

Es obvio que junto a grandes verdades, tanto las manifestaciones de Cajal como la de Macías Picavea contienen errores profundos y nocivos. El mismo Cajal, sin ir más lejos, debería haber sido más cuidadoso en sus expresiones, y recordar (como hizo en otros lugares) lo que debía a profesores e investigadores como Maestre de San Juan o Simarro. Pero por encima de las precisiones que el historiador de la ciencia española desee —y deba— efectuar, y de la muy probablemente exacerbada visión lúgubre y negativa sostenida por demasiados de los regeneracionistas finiseculares, hay un hecho innegable: la identificación de las carencias científicas como uno de los principales males de la patria.

Volvamos de nuevo a Cajal, y a su artículo de 1898 en *El Liberal*, en concreto a la sección que se titulaba «La media ciencia causa de ruina»:179

> Transformar la enseñanza científica, literaria e industrial, no aumentando, como ahora está de moda, el número de asignaturas, sino enseñando de verdad y prácticamente lo que tenemos. Bajo este aspecto habría que decir de nosotros cosas atroces. La media ciencia es, sin disputa, una de las causas más poderosas de nuestra ruina. A la hora de manejar los cañones no les han faltado a nuestros artilleros conocimientos matemáticos, sino la práctica de dar en el blanco. Digo lo mismo de los médicos, físicos, químicos y naturalistas; todos son doctísimos pero pocos saben aplicar su ciencia a las necesidades de la vida y rarísimos los que dominan los métodos de investigación hasta el punto de hacer descubrimientos.
>
> Hay que crear ciencia original, en todos los órdenes del pensamiento: filosofía, matemáticas, química, biología, sociología, etcétera. Tras la ciencia original vendrá la aplicación industrial de los principios científicos, pues siempre brota al lado del hecho nuevo la explotación del mismo, es decir, la aplicación al aumento y a la comodidad de la vida. Al fin, el fruto de la ciencia aplicada a todos los órdenes de la actividad humana es la riqueza, el bienestar, el aumento de la población y la fuerza militar y política.

Y concluía: «Hemos caído ante los Estados Unidos por ignorantes y por débiles, que hasta negábamos su ciencia y su fuerza. Es preciso, pues, regenerarse por el trabajo y el estudio».

«Regenerarse por el trabajo y el estudio», he aquí la máxima cajaliana. Pero ¿cómo llevar a cabo, de manera efectiva y eficaz, semejante regeneración? Una de las primeras propuestas que realizó Cajal después del «Desastre» fue de la mano de unos *Apuntes para un plan de reforma de la enseñanza de las Facultades de Medicina*, que preparó en septiembre de 1899, y que nunca llegó a publicar.[180] Tal documento fue fruto de un viaje por el extranjero que había realizado en comisión de servicio, durante los meses de junio, julio y agosto, así como de «las excursiones a Inglaterra, Francia, Alemania e Italia, emprendidas», escribía, «por propia iniciativa en años anteriores», que le habían permitido «estudiar con algún detenimiento la organización de las Facultades de Medicina de los países más adelantados y allegar algunos datos con

los cuales cabe bosquejar un plan de reformas de la enseñanza médica de incontestable utilidad».

La intención de Cajal no era «aconsejar un cambio radical de sistema de enseñanza ni alterar en sus fundamentos la organización interna de nuestras Facultades. Nuestras reformas tocan más a la materia de la enseñanza, en nuestro concepto deficiente y poco en armonía con la fase actual de la ciencia, y sobre todo a la manera más teórica que práctica y más a propósito para formar eruditos que prácticos e investigadores».

El punto que Cajal señalaba aquí es esencial: el mundo científico español, tanto a nivel educativo como investigador, de finales del siglo XIX era básicamente teórico, libresco, y ello en un momento en el que la instrucción práctica se estaba introduciendo con firmeza en naciones como Alemania, Inglaterra y Estados Unidos.

Poco más de un mes después de que Cajal escribiese los anteriores *Apuntes*, el 23 de junio de 1899, ideas no muy diferentes a las de Cajal encontraban eco en las Cortes, donde el diputado Eduardo Vincenti (futuro vocal de la Junta para Ampliación de Estudios, institución a la que me referiré enseguida) manifestaba:[181]

> Yo no cesaré de repetir que, dejando a un lado un falso patriotismo, debemos inspirarnos en el ejemplo que nos ha dado los Estados Unidos. Este pueblo nos ha vencido no sólo por ser más fuerte, sino también por ser más instruido, más educado; de ningún modo por ser más valiente. Ningún yanqui ha presentado a nuestra escuadra o a nuestro ejército su pecho, sino una máquina inventada por algún electricista o algún mecánico. No ha habido lucha. Se nos ha vencido en el laboratorio y en las oficinas, pero no en el mar o en la tierra.

Diez años más tarde, todavía se repetía la misma idea, cual si de eterna cantinela se tratase. En 1909, en efecto, José Rodríguez Carracido (1856-1928), catedrático desde 1898 de Química biológica en Madrid, futuro rector de la Universidad Central y senador, recordaba que el «problema de la educación científica en España se ha planteado como necesidad apremiante inmediatamente después de la

pérdida de los últimos restos de nuestro poderío colonial. Replegada en sus lares solariegos el alma nacional hizo examen de conciencia y vio con toda claridad que había ido a la lucha, y en ella había sido vencida por su ignorancia de aquellos conocimientos que infunden vigor mental positivo en los organismos sociales. Refiriéndose a los títulos de las asignaturas de la segunda enseñanza, alguien dijo donosamente que nuestra derrota era inevitable, por ser los Estados Unidos el pueblo de la Física y la Química, y España el de la Retórica y Poética».[182]

Nuevas esperanzas (y realidades) en el siglo XX

Afortunadamente, las lecciones de la derrota en Cuba no se perdieron (las experiencias traumáticas tienen a veces algo de bueno). Si la educación tenía que ver con el «Desastre», entonces había que actuar en ese campo. Y así surgieron algunas iniciativas que mejoraron la situación de la educación y de la ciencia españolas. Hay, en primer lugar, que mencionar que por decreto de 28 de abril de 1900 se suprimió el anterior Ministerio de Fomento, creándose en su lugar dos nuevos ministerios: el de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas y el de Instrucción Pública y Bellas Artes. Por primera vez en la historia de España, la educación alcanzaba los niveles más altos de la administración del Estado. Pero los esfuerzos más importantes se centraron en la educación primaria y secundaria, no en la superior, con lo que la educación universitaria no progresó demasiado, especialmente en lo que facilidades materiales para realizar investigaciones científicas se refiere. Hubo, sin embargo, al menos una excepción: la creación, en 1907, de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, una institución autónoma, al margen de la universidad, aunque dependiente del Ministerio de Instrucción Pública e inspirada en las ideas de la Institución Libre de Enseñanza.[183]

La Exposición del Decreto Fundacional es un fiel reflejo

tanto del contexto del que surgió la Junta como de sus intenciones. Empieza así: «El más importante grupo de mejoras que pueden llevarse a la instrucción pública es aquel que tiende por todos los medios posibles a formar el personal docente futuro y dar al actual medios y facilidades para seguir de cerca el movimiento científico y pedagógico de las naciones más cultas, tomando parte en él con positivo aprovechamiento».

El principal medio elegido para llevar a cabo esta tarea fueron las pensiones, las becas, como se denominan en la actualidad. De hecho, por la importancia concedida a las mismas la JAE fue más conocida como «Junta de Pensiones». El Decreto Fundacional era, una vez más, explícito en este aspecto: «El pueblo que se aísla se estaciona y descompone. Por eso todos los países civilizados toman parte en ese movimiento de relación científica internacional, incluyendo en el número de los que en ella han entrado, no sólo los pequeños estados europeos, sino las naciones que parecen apartadas de la vida moderna, como China, y aun la misma Turquía, cuya colonia de estudiantes en Alemania es cuatro veces mayor que la española, antepenúltima entre todas las europeas, ya que son sólo inferiores a ella en número Portugal y Montenegro».

Las pensiones en el extranjero se hallaban, en efecto, implantadas entonces en numerosas naciones, entre las que se encontraban algunas poco desarrolladas. Así, países como Rumania, China y Japón habían formado en buena medida su cultura moderna sobre la base de las pensiones en el extranjero (China enviaba anualmente pensionados por centenares a Europa y Japón por millares). Chile y la República Argentina adoptaron igual sistema, y este último país llegó a instituir en París una delegación para atender a los becarios residentes en el Viejo Mundo. Ese movimiento emigratorio general llegó a ser tan grande que el número de alumnos extranjeros en las universidades alemanas, durante el curso de 1904-1905, se elevó a unos 7.000, de los cuales estaban matriculados oficialmente más de 4.000.

No todo se limitaba, sin embargo, a las pensiones, como se puede comprobar mediante el Real Decreto de 22/1/1910 en el que se indicaba de manera explícita las funciones que tendría a su cargo la JAE. Eran las siguientes:

1°. El servicio de ampliación de estudios dentro y fuera de España.
2°. Las Delegaciones en Congresos Científicos.
3°. El servicio de información extranjera y relaciones internacionales en materia de enseñanza.
4°. El fomento de los trabajos de investigación científica.
5°. La protección de las instituciones educativas en la enseñanza secundaria y superior.

Para fomentar, como se indicaba en el punto cuarto, la investigación científica, la Junta estableció dos centros en torno a los cuales se vertebró la mayor parte de los trabajos que promovió: el Centro de Estudios Históricos, dedicado a las humanidades, y el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales.

El Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales fue creado oficialmente a través de un R. D. de 27 de mayo de 1910. Ramón y Cajal fue nombrado presidente y el físico Blas Cabrera secretario. A este Instituto se incorporaron establecimientos ya existentes: Museo Nacional de Ciencias Naturales, Museo de Antropología, Jardín Botánico, Estación Biológica de Santander y Laboratorio de Investigaciones Biológicas de Cajal, que más tarde (1920) se convertiría en el Instituto Cajal. En cuanto a nuevos laboratorios, centros o grupos, creados por la Junta, éstos fueron los siguientes: Laboratorio de Investigaciones Físicas,184 Estación Alpina de Biología del Guadarrama, Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, Laboratorio y Seminario Matemático y los Laboratorios de Química, Fisiología, Anatomía microscópica, Histología, Bacteriología y Serología de la Residencia de Estudiantes.

En los centros de física, química, matemáticas, ciencias

naturales y biomédicas, al igual que en los de humanidades (filología, historia, arte, filosofía, arqueología), que creó o ayudó a mantener la Junta, investigaron los mejores cerebros de la ciencia española de aquella época: entre otros, Santiago Ramón y Cajal, Blas Cabrera, Ignacio Bolívar, Miguel Catalán, Enrique Moles, Julio Rey Pastor, Nicolás Achucarro, Pío del Río Hortega, Juan Negrín, Gonzalo Rodríguez Lafora, Antonio de Zulueta, Eduardo Hernández-Pacheco, Julio Palacios, Arturo Duperier, Manuel Martínez Risco, Antonio Madinaveitia, Jorge Francisco Tello, Luis Calandre, Fernando de Castro y jóvenes como Francisco Grande Covián, Rafael Lorente de No, Severo Ochoa o Luis Santaló, que terminarían, tras la guerra civil, por contribuir de manera destacada al desarrollo de la bioquímica y fisiología estadounidense, los tres primeros, y a la matemática argentina el cuarto.

La guerra civil de 1936-1939 cortó, no obstante, el impulso que estaba consiguiendo la ciencia hispana.

Capítulo 3

EL PODER DE LAS IDEAS (I): CHARLES DARWIN

Como ya he señalado en páginas precedentes, el término «poder» posee muy diversas acepciones. Seguramente, la más extendida, la que más rápidamente nos viene a la mente, tiene que ver con los poderes político, económico o militar, pero no son éstos los únicos tipos de poder: también son poderosos, por ejemplo, aquellos que generan ideas que penetran y se difunden por el conjunto de la sociedad, y a los que ésta identifica claramente como responsables, creadores, de tales ideas. «¡Dadme una idea, una gran idea, y moveré el mundo!», se ha dicho o pensado en algunas ocasiones, y ciertamente que, retórica aparte, la historia es testigo de ideas que han cambiado el mundo, y notario fiel de que aquellos que las pensaron y propusieron fueron admirados y honrados, en su tiempo al igual que después, y considerados, incluso, en alguna ocasión como «profetas».

Este tipo de poder, de influencia profunda, se ha dado también en la ciencia. Isaac Newton (1642-1727), «el grande entre los grandes», es uno de los primeros ejemplos —si no el primero— realmente representativos. Desde la publicación, en 1687, de los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Principios matemáticos de la filosofía natural*), Newton llegó a ejercer en vida una grandísima influencia, aunque es cierto que ésta se afincó primero básicamente en su patria y después se extendió por el continente europeo, donde tuvo que competir y desbancar los planteamientos cartesianos.[1] Sin embargo, el siglo XVIII, el Siglo de las Luces, da fe de lo mucho que las ideas y ciencia newtonianas influyeron en la humanidad. No es posible, en efecto, comprender aquella centuria, el advenimiento de la

Modernidad y el fin de la era de la cristiandad, sin tener en cuenta la confianza que los ilustrados depositaron en las posibilidades de la ciencia de Newton, y la tecnología que ésta ayudaba a desarrollar, para comprender y utilizar la naturaleza, y para construir una sociedad más racional, más justa y más confortable.

Para que nos hagamos una idea del poder, de la influencia de la ciencia newtoniana, no basta, claro, con decir que las teorías y planteamientos de Newton se extendieron a casi todas las demás disciplinas científicas (química, biología, matemáticas). Si únicamente hubiese penetrado en tales dominios, sería un poder en cierto sentido limitado, al no haber sido capaz de atravesar las fronteras que separan la ciencia de las disciplinas que habitualmente, no con total fortuna, se suelen denominar «humanísticas», así como de la patria mental en la que habitan los denominados legos (aquellos que no poseen conocimientos científicos especiales). Sucede, no obstante, que la ciencia newtoniana sí atravesó ese tipo de barreras, penetrando en dominios como los de la religión, pasando por el derecho o la filosofía. Recordemos, a modo de ejemplo, a Charles de Secondat, barón de la Brède y de Montesquieu, esto es, a, simplemente, Montesquieu, comparando en su *Esprit des lois* (1748) a una monarquía que funcionase bien con el sistema del universo newtoniano, en el que existe un «poder de gravitación» que «atrae» a todos los cuerpos hacia el «centro»;[2] a John Theophilus Desaguliers escribiendo un curioso poema de carácter político con ocasión de la coronación de Jorge II en 1728: *The Newtonian System of the World, the Best Model of Government* (*El sistema newtoniano del mundo, el mejor modelo de gobierno;* 1729), a John Adams invocando la tercera ley newtoniana del movimiento para defender la nueva Constitución de Estados Unidos o a James Madison, cuarto presidente de Estados Unidos (lo fue entre 1809 y 1817) utilizando algunas metáforas newtonianas cuando, al referirse al poder del Gobierno Federal «de negativizar» leyes aprobadas por los gobiernos de los estados, sostenía

que este poder era «absolutamente necesario», asimilándolo al «principio atractivo que retenía la fuerza centrífuga» en nuestro sistema solar, y advirtiendo que sin él los «planetas escaparían de sus órbitas».3

Más claro que el caso de Newton es, sin embargo, el de Charles Darwin (1809-1882), y además pertenece al período temporal del que se ocupa el presente libro, en su caso el siglo XIX. De él me ocuparé en este capítulo. Y de Albert Einstein, éste del siglo XX, en el capítulo 7.

CHARLES DARWIN Y LA EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES

Aunque no fue el primero que habló de evolución de las especies, es innegable que de muy pocos descubrimientos, teorías o científicos se puede decir lo que se puede manifestar a propósito de Darwin: que generó una revolución intelectual que fue mucho más allá, en su caso, de los confines de la biología, o, de forma más general, las ciencias naturales, provocando el derrumbamiento de algunas de las creencias más firmemente enraizadas en el pensamiento de los humanos. Creencias como la de que cada especie fue creada individualmente, «a imagen y semejanza de Dios», se añade en algunas religiones. Si Copérnico separó nuestro hábitat, la Tierra, del centro del universo, Darwin despojó a la especie humana del lugar privilegiado que hasta entonces había ocupado en la naturaleza. Depurada por el paso del tiempo, la idea básica de la teoría darwiniana de la evolución de las especies, o de la selección natural, es que no hay una tendencia intrínseca que obligue a las especies a evolucionar en una dirección determinada; que no existe una fuerza que empuje a las especies a avanzar según una jerarquía predeterminada de complejidad, ni tampoco una escala evolutiva por la que deban *ascender* todas las especies. Se puede hablar de «evolución de las especies», es cierto, pero se trata de un proceso básicamente abierto, sin final único. Si se trasladan especies a lugares diferentes y aislados, cada una de ellas cambiará sin referencia a las otras, y el resultado será un

grupo de especies distintas aunque genéticamente relacionadas.

Darwin nunca tuvo que preocuparse por el aspecto material de su vida, por eso que a la mayoría nos preocupa casi de la cuna a la tumba: los recursos económicos. Un detalle que no es baladí, y que ayuda a comprender que pudiese producir una obra tan extensa. Fue el segundo hijo varón del médico Robert Darwin y Susannah, hija mayor de Josiah Wedgwood, el fundador de la célebre dinastía de ceramistas. Su abuelo paterno, Erasmus Darwin (1731-1802), médico próspero, además de poeta, filósofo y botánico, fue también uno de los precursores de la teoría evolucionista, con un libro titulado *Zoonomía; or the Laws of Organic Life* (1794-1796; 2 vols.).

Inicialmente pretendió ser médico, y se matriculó en 1825 en la Facultad de Medicina de la Universidad de Edimburgo, pero en 1827 abandonó tal idea, al igual que la universidad escocesa, trasladándose a la de Cambridge, con el propósito, no demasiado definido, de prepararse para entrar en la Iglesia de Inglaterra como sacerdote. En Cambridge, sin embargo, Darwin profundizó en los intereses, hasta entonces puramente aficionados, que había desarrollado en el campo de las ciencias naturales.

Nada más finalizar sus estudios en Cambridge, encontró la oportunidad ideal de avanzar en estos intereses: fue aceptado como naturalista en el barco *HMS Beagle*, que zarpó del puerto de Portsmouth el 27 de diciembre de 1831, en un viaje que le llevó a las islas de Cabo Verde, Río de Janeiro, Montevideo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Santa Fe, la Patagonia y la Tierra del Fuego, el estrecho de Magallanes, Valparaíso, Perú, el archipiélago de las Galápagos, Tahití y Nueva Zelanda, Australia, el cabo de Buena Esperanza, las islas de Ascensión, Canarias y Azores, antes de regresar a Inglaterra, cinco años después, siendo por entonces una persona muy distinta, humana y, sobre todo, intelectualmente.

Tras su viaje en el *Beagle*, el prestigio de Darwin en su patria aumentó rápidamente. Importante en este sentido fue

la publicación del libro en el que narró sus experiencias durante el viaje. Apareció como parte del informe en tres volúmenes del viaje en el que participó Darwin y otro viaje anterior. El título era *Narrative of the Surveying Voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle, between the Years 1826 and 1836, describing their Examination of the Southern Shores of South America, and the Beagle's Circumnavigation of the Globe*. El primer volumen, escrito por el capitán Philip Parker King (1793-1856), describía el primer viaje del navío (en el que no había participado Darwin). El segundo fue debido al capitán del *Beagle* Robert FitzRoy (1805-1865), mientras que el tercero fue el de Darwin, y llevaba el título de *Journal of Researches into the Natural History and Geology of the Countries Visited during the Voyage of H.M.S. Beagle Round the World*. Publicado en 1845, enseguida se convirtió en un éxito de ventas en su patria (se hicieron al menos doce ediciones de ella), y fue traducido a diversas lenguas (en castellano bajo el título de *Viaje de un naturalista alrededor del mundo*).

En las Galápagos

Un momento central del viaje de Darwin tuvo lugar cuando llegó al archipiélago de las Galápagos, en el océano Pacífico, frente al norte de América del Sur. Pasó únicamente cinco semanas explorando sus islas, entre septiembre y octubre de 1835, pero la impresión que produjeron en él aquellas semanas fue duradera, y la teoría de la evolución que posteriormente elaboró debe mucho a lo que vio allí.

En el *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* encontramos pasajes que muestran que, efectivamente, en las Galápagos Darwin observó detalles que le serían de gran utilidad más adelante. Aparecen éstos en la entrada iniciada el 8 de octubre de 1835, cuando llegó a la isla James, donde permaneció ocho días:[4]

> Muy curiosa es la historia natural de estas islas, y merece la

> mayor atención. La mayor parte de las producciones orgánicas son esencialmente indígenas, y no se las encuentra en ninguna parte; hasta entre los habitantes de las diferentes islas se encuentra cierta diversidad. Todos los organismos tienen, sin embargo, cierto grado de parentesco más o menos marcado con los de América, aun cuando separan al archipiélago del continente 500 o 600 millas de océano... Viendo todas las colinas coronadas por sus cráteres, y perfectamente marcados todavía los límites de cada corriente de lava, hay motivo para creer que, en una época geológicamente reciente, se extendía el océano donde se encuentran ellas hoy. Así pues, tanto en el tiempo como en el espacio nos encontramos frente a frente del gran fenómeno, del misterio de los misterios: la primera aparición de nuevos seres sobre la tierra...
>
> El fenómeno más curioso es la perfecta graduación en el grueso de los picos, en las diferentes especies de *Geospiza*, que varía entre el tamaño del de un pico-gordo y el de un pinzón... El pico del *Cactornis* se parece algo al del estornino; el del cuarto subgrupo, *Camarhynchus*, afecta en cierto la forma del papagayo. Al considerar esta graduación y diversidad de conformaciones en un grupito de pájaros tan próximos unos a otros, podría creerse que en virtud de una pobreza original de pájaros en el archipiélago, se había modificado una sola especie para llegar a fines diferentes.

Con la privilegiada perspectiva que da el tiempo, no es difícil reconocer en estos pasajes el germen de la teoría de la evolución, o, cuando menos, hechos que facilitaban enormemente su concepción. Una impresión esta que confirma el contenido de una carta que el 11 de enero de 1844 Darwin envió al biólogo Joseph Dalton Hooker:[5] «Me impresionó tanto la distribución de los organismos de las Galápagos... y... el carácter de los mamíferos fósiles de América..., que decidí reunir a ciegas toda suerte de hechos que pudieran tener que ver de alguna forma con lo que son las especies. He leído montones de libros de agricultura y horticultura, y no he parado de recoger datos. Por fin han surgido destellos de luz, y estoy casi convencido (totalmente en contra de la opinión con la que empecé) de que las especies no son (es como confesar un crimen) inmutables. El cielo me libre del disparate de Lamarck de

“una tendencia al progreso”, “adaptaciones debidas a la paulatina inclinación de los animales”, etcétera».

«Es como confesar un crimen», escribía. Siglo y medio después, todavía podemos imaginarnos cuáles debieron de ser sus sentimientos ante la idea, ante la evidencia, que se imponía a su cerebro. Una idea que iba en contra no sólo de la mayoría de las creencias científicas aceptadas hasta entonces, sino también, algo que seguramente era más doloroso para él, en contra de las «divinas».

Darwin y Malthus

Además de las observaciones en las Galápagos, para llegar a proponer la idea de la evolución de las especies, Darwin necesitó muchas otras observaciones de campo y de lecturas de los resultados de otros naturalistas, por supuesto. Pero también de al menos un elemento más: de la lectura, en septiembre de 1838, de un libro de Thomas Robert Malthus (1766-1834), *An Essay on the Principle of Population as it affects the future improvement of Society with remarks on the speculations of Mr. Godwin, Mr. Condorcet, and other writers* (1798), que le proporcionó un mecanismo causal para explicar el cambio de especies. Para darse cuenta de en qué radicó la influencia de Malthus basta con leer lo que el propio Darwin escribió en el libro en el que presentó finalmente sus ideas, el famoso *El origen de las especies*, al que enseguida volveré. Allí, en efecto, en una sección titulada «Progresión geométrica del aumento», se puede leer:[6]

> De la rápida progresión en que tienden a aumentar todos los seres orgánicos resulta inevitablemente una lucha por la existencia. Todo ser que durante el curso natural de su vida produce varios huevos o semillas tiene que sufrir destrucción durante algún período de su vida, o, durante alguna estación, o de vez en cuando en algún año, pues de otro modo, según el principio de la progresión geométrica, su número sería pronto tan extraordinariamente grande que ningún país podría mantener el producto. De aquí que, como se producen más

individuos que los que pueden sobrevivir, tiene que haber en cada caso una lucha por la existencia, ya de un individuo con otro de su misma especie o con individuos de especies distintas, ya con las condiciones físicas de vida. Ésta es la doctrina de Malthus, aplicada con doble motivo al conjunto de los reinos animal y vegetal, pues en este caso no puede haber ningún aumento artificial de alimentos, ni ninguna limitación prudente por el matrimonio. Aunque algunas especies puedan estar aumentando numéricamente en la actualidad con más o menos rapidez, no pueden hacerlo todas, pues no cabrían en el mundo.

No existe excepción a la regla de que todo ser orgánico aumenta naturalmente en progresión tan alta y rápida que, si no es destruido, estaría pronto cubierta la tierra con la descendencia de una sola pareja.

Provisto de semejante instrumento conceptual, más adelante añadía, introduciendo su célebre principio de selección natural:[7]

La lucha por la existencia..., ¿cómo obrará en lo que se refiere a la variación? El principio de la selección, que hemos visto es tan potente en las manos del hombre, ¿puede tener aplicación en las condiciones naturales?... Involuntariamente, el hombre somete a los seres vivientes a nuevas y cambiantes condiciones de vida, y sobreviene la variabilidad; pero cambios semejantes de condiciones pueden ocurrir, y ocurren, en la naturaleza. Tengamos también presente cuán infinitamente complejas y rigurosamente adaptadas son las relaciones de todos los seres orgánicos entre sí y con condiciones físicas de vida y, en consecuencia, qué infinitamente variadas diversidades de estructura serían útiles a cada ser en condiciones cambiantes de vida. Viendo que indudablemente se han presentado variaciones útiles al hombre, ¿puede pues parecer improbable el que, del mismo modo, para cada ser, en la grande y compleja batalla de la vida, tengan que presentarse otras variaciones útiles en el transcurso de muchas generaciones sucesivas? Si esto ocurre, ¿podemos dudar —recordando que nacen muchos más individuos de los que acaso pueden sobrevivir— que los individuos que tienen ventaja, por ligera que sea, sobre otros tendrían más probabilidades de sobrevivir y procrearse su especie? Por el contrario, podemos estar seguros de que toda variación en el menor grado perjudicial tiene que ser rigurosamente destruida. A esta conservación de las diferencias

> y variaciones individualmente favorables y la destrucción de las que son perjudiciales la he llamado yo *selección natural* o *supervivencia de los más adecuados*.

Con la base teórica que le proporcionó Malthus, Darwin continuó tomando notas y explorando nuevas avenidas de pensamiento. En el verano de 1842 pensaba que sus investigaciones habían llegado a un punto tal que estaba preparado para escribir un esbozo de su teoría de las especies, basada en un principio al que, como acabamos de ver, denominó «selección natural». Sin embargo, todavía pasarían diecisiete años hasta que fuese publicado *Sobre el origen de las especies*, aunque el esbozo de 1842 —que pidió a su esposa que se encargase de publicar si moría antes de escribir la gran obra que planeaba— coincide en gran medida con la versión de 1859.

La razón por la que pasaron tantos años hasta la escritura y publicación de *Sobre el origen de las especies* es que el exigente espíritu de Darwin no se conformaba con algunos indicios, por muy claros que éstos pareciesen. Deseaba estar seguro, y así se convirtió en un infatigable, casi obseso, buscador de hechos, de detalles, que completasen el gran rompecabezas que quería componer: nada más y nada menos que la historia natural de la Tierra. En este punto reside precisamente su singularidad: algunos antes que él pensaron en la existencia de procesos evolutivos, pero únicamente propusieron mecanismos imposibles, sin prácticamente datos que los sustentaran sistemáticamente, mientras que Darwin disponía de una idea plausible y de una enorme cantidad de datos que la sustentaba. En este sentido, durante la década de 1850 llevó a cabo estudios y experimentos de todo tipo: sobre, por ejemplo, hibridación, paleontología, variación y cría de palomas y otros animales domésticos, modos de transporte natural que pudiesen explicar la distribución geográfica de los organismos después del origen evolutivo de cada forma en una sola región, un problema que a su vez le condujo a diseñar experimentos del tipo de cuánto tiempo podrían flotar las semillas en agua salada y después de germinar, si

las semillas y los huevos pequeños podrían ser transportados en el barro incrustado en las patas de los pájaros, o qué semillas podrían atravesar el sistema digestivo de un ave y sobrevivir. Su correspondencia da fe de lo intenso y diverso de sus intereses y pesquisas:8 «[haz] el favor, si tienes la oportunidad cuando estés en Derbyshire, de preguntar por mí a alguna persona de la que me hablaste si la descendencia del pato almizclado macho y el pato común hembra se parece a la descendencia del pato almizclado hembra y el macho común», preguntaba el 25 de enero de 1841 al clérigo y primo segundo suyo, William Darwin Fox. «Si su amigo reside cerca de las partes donde el Chetah se utiliza para cazar», escribía el 11-12 de julio de 1845 a Joseph Dalton Hooker, director adjunto de los Reales Jardines Botánicos de Kew, especialista en taxonomía y geografía de plantas y su amigo íntimo, «estoy *especialmente* interesado en saber si *alguna vez* los han criado en domesticación; o si nunca o rara vez, y si copulan, y de cuál se piensa es el fallo, del macho o de la hembra. De nuevo, si reside en los distritos donde se cultiva el gusano de seda, cualquier información relativa a si varían en algo las polillas, las orugas o los capullos, si los habitantes ponen especial cuidado en seleccionar buenos individuos para criar, si hay alguna creencia tradicional sobre el origen de cualquier cría, es decir, si en diferentes distritos se encuentran diferentes formas de cría de la misma especie. O cualquier información de este tipo. Esto sería incalculablemente valioso para mí.» Y, de nuevo a Fox, el 7 de mayo de 1855 (es mi último ejemplo): «Odiarás la simple visión de mi letra; pero después de esta vez te prometo que no te pediré nada más, al menos durante mucho tiempo. Dado que vives en un suelo arenoso, ¿tenéis ahí lagartos completamente comunes? Si los tenéis, ¿crees que sería demasiado ridículo ofrecer una recompensa por huevos de lagarto a los niños de tu escuela?... Si te llevaran por equivocación huevos de serpiente estaría muy bien, porque también los necesito: y no tenemos ni lagartos ni serpientes por aquí». Y a continuación explicaba a su amigo

el porqué de tales peticiones: «Mi objetivo es ver si esos huevos flotarán en el agua de mar, y si se mantendrán vivos flotando durante un mes o dos en mi sótano. Estoy realizando experimentos sobre el transporte de todos los seres orgánicos que puedo; y los lagartos se encuentran en todas las islas y, por consiguiente, tengo muchas ganas de ver si sus huevos soportarán el agua de mar».

El origen de las especies y la recepción de la teoría de la evolución darwiniana

El fruto de todos estos trabajos de Darwin fue *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (*Sobre el origen de las especies por medio de selección natural, o la conservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida*), uno de los libros más famosos y paradigmáticos de la historia del pensamiento universal.[9] Su publicación tuvo lugar el 24 de noviembre de 1859 y su éxito fue inmediato: la primera edición, de 1.500 ejemplares, se agotó el mismo día en que se puso a la venta, y un mes más tarde apareció una segunda; en su primer año, se vendieron 3.800 copias y en vida de su autor 27.000. Y pronto fue traducida a otros idiomas, incluido el español: *Origen de las especies por medio de la selección natural o conservación en su lucha por la existencia* (traducción de Enrique Godímez; Madrid 1877).[10]

La teoría de la evolución no fue solamente un acontecimiento científico de primer orden, también constituyó un suceso social de parecida magnitud. En pocos lugares fue ignorada; de hecho, suscitó grandes pasiones, en las que los argumentos científicos se mezclaban con consideraciones de índole política y religiosa.

Un debate público célebre fue el que tuvo lugar el 30 de junio de 1860, durante una de las sesiones de la multitudinaria reunión anual de la British Association for the Advancement of Science. En aquella ocasión se enfrentaron el obispo de Oxford, Samuel Wilberforce, y el

biólogo Thomas Henry Huxley (1825-1895), que ha pasado a la historia de la ciencia, junto con sus distinguidas contribuciones a las ciencias naturales, como el campeón en la defensa de la teoría de la evolución. El reverendo W. H. Freemantle, que asistió a aquella confrontación, nos dejó una descripción de la misma que merece la pena reproducir:11

> El obispo de Oxford atacó a Darwin, al principio de manera juguetona, pero después con inexorable formalidad. Era sabido que el obispo había escrito un artículo contra Darwin en el último número del *Quarterly Review*; se había rumoreado también que el profesor [Richard] Owen había estado en Cuddesdon, preparando al obispo, que iba a actuar como un portavoz del gran paleontólogo, que no se atrevía a participar [Owen nunca aceptó la teoría darwiniana de la evolución, y fue uno de sus críticos más encarnizados]. Sin embargo, no pareció que el obispo dominara los hechos y cometió una seria equivocación. Un hecho que había sido muy destacado como confirmación de la idea de variación de Darwin era que hacía poco había nacido en un rebaño del norte de Inglaterra una oveja que tenía una vértebra más de lo normal en la columna vertebral. El obispo estaba manifestando con retórica exageración que no existía prácticamente ninguna evidencia en favor de Darwin. «¿Qué han aportado?», exclamó. «Algún rumor acerca de una oveja con patas largas.» Y entonces comenzó a burlarse: «Querría preguntar al profesor Huxley, que está sentado a mi lado, y está dispuesto a hacerme picadillo en cuanto me siente, acerca de su creencia en que desciende de un mono. ¿Procede esta ascendencia del lado de su abuelo o del de su abuela?». Y entonces, adoptando un tono más grave, afirmó, en una solemne perorata, que las ideas de Darwin eran contrarias a lo revelado por Dios en las Escrituras. El profesor Huxley no tenía ganas de responder; pero fue solicitado, y habló con su habitual penetración y con algo de desdén: «Estoy aquí solamente en interés de la ciencia», dijo, «y no he oído nada que pueda perjudicar los intereses de mi augusto defendido». A continuación, tras mostrar cuán poco competente era el obispo para participar en la discusión, tocó la cuestión de la Creación: «Usted dice que el desarrollo elimina al Creador; pero dice al mismo tiempo que Dios le hizo; y aun así, sabe que usted fue originalmente un pequeño trozo de materia, no mayor que el final de este plumier de oro». Por último, con relación a

descender de un mono, dijo: «No sentiría ninguna vergüenza de haber surgido de semejante origen; pero sí que me avergonzaría proceder de alguien que prostituye los dones de cultura y elocuencia al servicio de los prejuicios y la falsedad».

Hablaron muchos otros. Mr. Gresley, un viejo don de Oxford, señaló que en la naturaleza humana, al menos el desarrollo ordenado no era una regla necesaria; Homero era el más grande de los poetas, pero vivió hacía tres mil años, y todavía no ha surgido su igual.

El almirante FitzRoy estaba presente, y dijo que a menudo había discutido con su viejo camarada del *Beagle* por sostener opiniones que eran contradictorias con el primer capítulo del Génesis.

Sir John Lubbock declaró que muchos de los argumentos que se utilizaban para apoyar la permanencia de las especies se desvanecían, y puso como ejemplo el del trigo del que se decía que procedía de una momia egipcia, y que se le envió para demostrar que el trigo no había cambiado desde los tiempos de los faraones; pero que resultó venir de chocolate francés. Sir Joseph (entonces Dr.) Hooker habló brevemente, diciendo que había encontrado la hipótesis de la selección natural tan útil para explicar los fenómenos de su propia disciplina, la botánica, que se había visto obligado a aceptarla. Después de unas pocas palabras del viejo amigo de Darwin, profesor Henslow, que ocupaba la presidencia, la reunión se disolvió, dejando la impresión que aquellos más capaces de defender con detalle los argumentos de Darwin habían logrado que se aceptasen sus conclusiones.

Este episodio nos muestra que no obstante su poder explicativo potencial, la teoría de la selección natural de Darwin fue muy controvertida durante el final del siglo XIX, una circunstancia que se vio favorecida por el hecho de que el propio Darwin fue haciendo más duro su discurso. En *El origen de las especies* fue bastante cuidadoso intentando no perturbar los sentimientos de sus lectores, para los que la idea de la evolución, de que los humanos estuviésemos emparentados con otras especies, podía ser molesta. Pero tales precauciones fueron desapareciendo posteriormente, como muestra el siguiente pasaje de otro de sus grandes libros, el ya citado *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, en el que escribió:12

La principal conclusión a que llegamos en esta obra, es decir, que el hombre desciende de alguna forma inferiormente organizada, será, según me temo, muy desagradable para muchos. Pero difícilmente habrá la menor duda en reconocer que descendemos de esos bárbaros. Nunca olvidaré el asombro que experimenté en presencia de la primera partida de fueguinos que vi en mi vida en una ribera silvestre y árida, por la reflexión que inmediatamente cruzó mi imaginación: tales eran nuestros antecesores. Estos hombres estaban completamente desnudos y pintarrajeados, su largo cabello estaba enmarañado, sus bocas espumosas por la excitación y su expresión era salvaje, medrosa y desconfiada.

Apenas poseían arte alguno, y como los animales salvajes, vivían de lo que podían cazar; no tenían gobierno y eran implacables para todo lo que no fuese de su propia reducida tribu. El que haya visto un salvaje en su país natal, no sentirá mucha vergüenza en reconocer que la sangre de alguna criatura mucho más inferior corre por sus venas. Por mi parte, preferiría descender de aquel heroico y pequeño mono que se enfrentaba a su temido enemigo con el fin de salvar la vida de su guardián, o de aquel viejo cinocéfalo que, descendiendo de las montañas, se llevó en triunfo sus pequeños camaradas librándoles de una manada de atónitos perros, que de un salvaje que se complace en torturar a sus enemigos, ofrece sangrientos sacrificios, practica el infanticidio sin remordimiento, trata a sus mujeres como esclavas, desconoce la decencia y es juguete de las más groseras supersticiones.

Puede excusarse al hombre de sentir cierto orgullo por haberse elevado, aunque no mediante sus propios actos, a la verdadera cúspide de la escala orgánica; y el hecho de haberse elevado así, en lugar de colocarse primitivamente en ella, debe darle esperanzas de un destino aún más elevado en un remoto porvenir. Pero aquí no debemos ocuparnos de las esperanzas ni de los temores, sino solamente de la verdad, en tanto en cuanto nos permita descubrir nuestra razón; y yo he dado la prueba de la mejor manera que he podido.

Debemos, sin embargo, reconocer que el hombre, según me parece, con todas sus nobles cualidades, con la simpatía que siente por los más degradados de sus semejantes, con la benevolencia que hace extensiva, no ya a los otros hombres, sino hasta a las criaturas inferiores, con su inteligencia semejante a la de Dios, con cuyo auxilio ha penetrado los movimientos y constitución del sistema solar —con todas estas exaltadas facultades—, lleva en su hechura corpórea el sello

indeleble de su ínfimo origen.

Las creencias religiosas estuvieron detrás de las objeciones a las ideas de Darwin, pero no sólo ellas, también existían argumentos científicos. En realidad, no fueron demasiados los biólogos que se tomaron en serio el *mecanismo* darwiniano, optando muchos por diferentes ideas antidarwinianas, o relegando la selección natural como un factor secundario y puramente negativo. Y es que Darwin descubrió el hecho de la existencia de la selección natural, contribuyendo de forma muy destacada a dilucidar la historia de la evolución animal, pero apenas pudo hacer más que vagas sugerencias acerca de por qué surgen variaciones hereditarias entre organismos y cómo se transmiten éstas de generación en generación; es decir, carecía de una teoría de la herencia. Las teorías de la herencia que prevalecían por entonces sostenían ideas como la de que las características de los progenitores se mezclan en los hijos; pero si esto era así sería difícil explicar cómo podían mantener, sin diluirse con el transcurso de las generaciones, las características favorables.

La pieza de que carecía Darwin era la genética. De hecho, pudo haber dispuesto de la esencia de ella, puesto que el artículo del monje agustino Gregor Mendel (1822-1884), en el que formuló los principios básicos de la teoría de la herencia, a la que llegó a través de los experimentos que realizó con guisantes en el jardín de su monasterio, en lo que es hoy Brno (República Checa), fue publicado en 1865.13 Pero las investigaciones de Mendel apenas fueron conocidas, desde luego no por Darwin, y cuando fueron redescubiertas, simultáneamente, en 1900, por el holandés Hugo de Vries (1848-1935), el alemán Carl Correns (1864-1935) y, en menor grado, por el austríaco Erik von Tschermak (1871-1962), el autor de *The Origin of Species* ya había muerto.14

En cualquier caso, ya fuese estando a favor o en contra, en pocos lugares fue la teoría darwiniana de la evolución pasada por alto. De hecho, suscitó inmediatamente grandes pasiones, en las que los argumentos científicos se mezclaban con consideraciones de índole política, además de las religiosas ya mencionadas. De la fusión, a finales de la década de 1870, de las ideas evolucionistas con un programa político conservador, surgió lo que se denomina «darwinismo social». Al elevar a la categoría de «ley natural» las virtudes tradicionales de la confianza en la capacidad propia, la austeridad y la laboriosidad, el darwinismo social gozó de un favor especial entre, por ejemplo, los hombres de negocios norteamericanos. Sus defensores —que de hecho se basaron más en los escritos de Herbert Spencer (1820-1903), en el denominado «spencerismo social», que en los de Darwin— instaban a la implantación de la política del *laissez-faire*, dirigida a eliminar a inadaptados, ineficientes e incompetentes, reforzando de esta forma, o imbricándose con, los movimientos eugénicos, tan populares en las últimas décadas del siglo XIX y primeras del XX.

Uno de los portavoces destacados del darwinismo social, William Graham Sumner (1840-1910), de la Universidad de Princeton, sostenía que los millonarios eran los individuos más aptos de la sociedad y que merecían los privilegios de que disfrutaban: habían sido seleccionados naturalmente en el crisol de la competencia. Andrew Carnegie y John D. Rockefeller estaban, como es fácil imaginar, de acuerdo con esas ideas y se adhirieron a concepciones similares, que pensaban que proporcionaban una justificación a los excesos del capitalismo.

En general, la ciencia darwiniana fue utilizada con parecido fervor por programas políticos diferentes, como ejemplifica con especial claridad el caso de Alemania, donde *El origen de las especies* fue recibido con particular rapidez y entusiasmo (apareció una traducción al alemán justo el año siguiente a la publicación del original inglés). Fueron sobre todo los liberales y los marxistas los más

entusiastas; así, Wilhelm Liebknecht, amigo de Karl Marx (1818-1883), señaló que tras la publicación de *El origen* él y sus camaradas «no hablaron de otra cosa durante meses que no fuese sobre Darwin y el poder revolucionario de sus conquistas científicas».15 El mismo Marx encontró en el «materialismo» de Darwin la munición que buscaba contra el «derecho divino» de los reyes y la jerarquía social. La idea de que la evolución es una historia de conflicto competitivo casaba bien con su ideología de la «lucha de clases». De hecho, Marx envió a Darwin un ejemplar de su obra principal, *Das Kapital* (1867), pero éste nunca la leyó (sus páginas no fueron cortadas). Tanto capitalistas como comunistas, como vemos, se consideraban «darwinistas sociales». En un ensayo titulado «La función desempeñada por el trabajo en la transición del simio al hombre», publicado en 1876, Friedrich Engels (1820-1895) escribió: «El trabajo es la primera condición básica de toda existencia humana, hasta el punto de que, en cierto sentido, deberemos decir que el trabajo creó al hombre... En primer lugar, el trabajo, y tras él y, por tanto, con él, el lenguaje. Éstos fueron los dos estímulos más esenciales bajo cuya influencia el cerebro del simio se transformó gradualmente en el del hombre».

No es sorprendente que se publicasen libros como el que llevaba el título de *Darwinism and Politics* (*Darwinismo y política*; 1889), del *fellow* del Jesus College de Oxford David G. Ritchie. En la introducción de esta obra, podemos leer:16

> El propio Charles Darwin nos ha informado que fue el *Essay on Population* de Malthus el que le sugirió la Teoría de la Selección Natural. La tendencia constante de la población a superar los medios de subsistencia y la subsiguiente lucha por la existencia fueron ideas que solamente necesitaban ser extendidas de los seres humanos a todo el ámbito de la naturaleza orgánica para explicar por qué ciertas variaciones heredadas se convierten en fijas como características de tipos definidos o especies. Así, un tratado económico sugirió la respuesta al gran problema biológico; y es, por consiguiente, razonable que las fórmulas biológicas se apliquen, a su vez, a la explicación de las condiciones sociales. Se piensa,

> correctamente, que los problemas de la sociedad humana no se pueden estudiar adecuadamente si no hacemos uso de toda la luz que se puede encontrar en la investigación científica de la naturaleza; y la idea de la lucha por la existencia retorna a la explicación de la sociedad humana con toda la fuerza añadida de su triunfo en la solución de la pregunta más importante con la que la ciencia natural ha tratado hasta la fecha. Nuestros sociólogos miran con desdén a viejas frases, tales como «Contrato social» o «Derechos naturales», y piensan que han ganado no sólo una visión más precisa de lo que es, sino una regla disponible en la ética y política prácticas. La evolución se ha convertido no meramente en una teoría, sino en un credo, no simplemente en una concepción mediante la cual comprendemos el universo, sino en una guía para ordenar nuestras vidas.

Darwin en España

España no fue ajena al debate darwiniano.[17] Como señalé, *El origen de las especies* fue traducido al castellano en 1877, aunque por entonces ya circulaban y se discutían con frecuencia y vehemencia sus ideas: el primer tratamiento y discusión en profundidad parece que tuvo lugar en unas conferencias de José de Letamendi en el Ateneo Catalán en abril de 1867. Como en otros dominios de la ciencia decimonónica, también el darwinismo fue defendido por liberales progresistas. Uno de los que más se distinguió inicialmente fue Augusto González de Linares, con quien ya nos encontramos. José Rodríguez Carracido, otro personaje que nos apareció anteriormente, nos dejó testimonio de la defensa que hizo Linares del darwinismo durante su época de catedrático en Santiago:[18]

> La revolución del año 1868 fue un poderoso excitador de la mentalidad española. La violencia del golpe político rompió súbitamente muchas trabas, y los anhelos antes contenidos, se lanzaron al examen y discusión de lo humano y lo divino, pasando por todos los respetos tradicionales...
>
> Hasta el sosiego de la vieja ciudad compostelana fue turbado por el movimiento de rebeldía, acalorando los ánimos, en tertulias y paseos con temas como la soberanía-nacional, la

separación de la Iglesia y el Estado, y otros de la misma estirpe...

En el año 1872, después de unas oposiciones muy comentadas, fue nombrado don Augusto González de Linares catedrático de Historia Natural de la Universidad de Santiago. La desenvoltura de su trato, la fogosidad de su temperamento, la abundancia de su palabra y hasta ciertos pormenores de su indumentaria excitaron vivamente la atención de sus nuevos vecinos, pero las hablillas se convirtieron en formidables censuras cuando empezaron a difundirse por la ciudad las noticias de sus lecciones de cátedra...

La Academia Escolar de Medicina, por iniciativa de algunos socios conocidos por sus ideas exaltadas, invitó al nuevo catedrático de Historia Natural a ocupar la tribuna del disertante, y, aceptada la invitación, inmediatamente corrió la noticia por todo Santiago...

La Academia celebraba sus sesiones en el salón artesonado de Fonseca, y, no obstante, la magnitud del local, éste resultó insuficiente para dar cabida al público que acudió aquella noche a oír la conferencia...

El conferenciante disertó ampliamente sobre los fundamentos de la teoría de la Evolución, extendiéndola a todo linaje de procesos naturales, desde los que se inician en la masa caótica de las nebulosas hasta los que se ultiman en las formas superiores de la organización sin excluir, y esto era lo más grave, el génesis del organismo humano por transformación de los monos antropoides, sus predecesores. Murmullos de protesta y aplausos de contraprotesta interrumpieron con frecuencia al disertante, quien, por su temperamento tribunicio, exponía con mayor empuje su revolucionaria doctrina a medida que los ánimos se iban caldeando, hasta el extremo de terminar su conferencia diciendo que el transformismo de las especies y la evolución cósmica en general no era una teoría científica, sino la Ciencia misma, la única racionalmente admisible en el sistema novísimo de los conocimientos humanos.

Otra muestra de la vinculación de Darwin con el progresismo español se encuentra en que a su muerte, el *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* (año VI, n.º 125, 1882), como ya indiqué la publicación de la progresista y liberal Institución Libre de Enseñanza, de la que el naturalista inglés había sido nombrado profesor honorario en 1878, publicó una necrológica que abría el número del

Boletín. En el artículo (anónimo) se pueden leer manifestaciones como las siguientes:

> El día 20 del actual ha fallecido en Inglaterra, su patria, el Profesor honorario de la Institución CARLOS ROBERTO DARWIN, uno de los naturalistas y fisiólogos más eminentes que han honrado con su talento nuestro siglo, y a cuya imperecedera memoria pagamos aquí el homenaje de nuestra admiración y de nuestro respeto...
>
> [*Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural*] ha formado época en la historia de la filosofía natural, por la novedad y el atrevimiento de la doctrina, por la sencillez de las leyes de que hace depender la génesis y progreso de la vida epitelúrica, por la riqueza de hechos y de observaciones en que funda o de donde deriva sus conclusiones, por la claridad y viveza del estilo y el número de ediciones y de traducciones que ha alcanzado y de impugnadores que ha tenido.

La persistencia del creacionismo

La teoría de la evolución de las especies de Darwin fue combatida, como hemos visto, inmediatamente después de que se hiciese público en *El origen de las especies*. Algunos pensarán que al cabo de un tiempo esa oposición terminó desapareciendo ante el poder de las evidencias científicas y de cómo las ideas darwinianas ayudaban a comprender mejor la realidad biológica. Sin embargo, no ha sido así. Y no sólo, como cabría esperar, en lo que se refiere a las ideas privadas de personas, sino también, en algunos lugares, en el ámbito legislativo. Lugares como algunos estados de Estados Unidos.

El 21 de marzo de 1925, en efecto, la asamblea legislativa de Tennessee aprobó la denominada Ley Butler, que declaraba ilegal la enseñanza de la evolución humana en los centros educativos estatales.[19] El artículo primero de la ley disponía:[20]

> Será ilegal para cualquier profesor en cualquiera de las universidades, escuelas normales o cualquier otra escuela pública del Estado... enseñar cualquier teoría que niegue el

> relato de la creación divina del hombre tal como se enseña en la Biblia y enseñar, en cambio, que el hombre desciende de un orden animal inferior.

Las consecuencias de la nueva ley no se dejaron esperar: dos meses después de promulgada, un profesor de instituto en Dayton (Tennessee), John T. Scopes, fue acusado de enseñar la teoría darwiniana y llevado a juicio. En realidad, Scopes, que entonces tenía veinticinco años, había sido contratado como entrenador de atletismo y profesor de Física, pero había tenido que hacer una sustitución en biología ya que el profesor oficial (y director de la escuela) había caído enfermo. No había dado clases de evolución, ni estaba especialmente interesado en el tema, pero le tocó, en un repaso para el examen, la parte del texto de biología relativa a la evolución. Incluso con esto, lo más probable es que no hubiera pasado nada, pero Scopes, que sí estaba interesado en la libertad de expresión, se brindó a ser una pieza en la oposición a la ley, con la ayuda de la American Civil Liberties Union (Unión Americana de Libertades Civiles).

El juicio —conocido como el *«Monkey Trial»*, el «Juicio del Mono»— comenzó el 10 de julio de 1925 y terminó ocupando las primeras páginas de todos los periódicos estadounidenses. Su dimensión político-religiosa se hacía aún más evidente si tenemos en cuenta que representaba a la acusación el político y gran orador William Jennings Bryan (1860-1925), que había ocupado la cartera ministerial de Asuntos Exteriores con el presidente Woodrow Wilson y que fue nombrado tres veces candidato a la presidencia por el partido demócrata. Aunque realizó campañas progresistas —por ejemplo, en favor de que las mujeres pudiesen votar, para mejorar la situación en que se encontraban los trabajadores pobres o para poner trabas a la codicia de las grandes empresas—, en las ciencias naturales no mantuvo el mismo tono, siendo el principal responsable de la legislación en contra de la evolución. Como defensor de Scopes actuó el abogado Clarence Darrow, que acorraló con maestría a Bryan, bastante

iletrado en cuestiones científicas. Así, se cuenta que Darrow sacó a Bryan al banquillo y le preguntó si creía que el Sol se había detenido en favor de Josué para prolongar el día de la batalla, cono se lee en la Biblia. «Acepto la Biblia de manera absoluta», respondió el político convertido en fiscal. Y entonces Darrow continuó: «¿Cree usted que en aquellos tiempos el Sol giraba alrededor de la Tierra?». «Sí», respondió Bryan, con lo cual se ponía en evidencia, toda vez que el pasaje bíblico había sido escrito antes de que se conociese la teoría copernicana, según la cual la Tierra orbita en torno al Sol. La Biblia no podía ser aceptada sin más, sus textos tenían que ser interpretados teniendo en cuenta las ideas que predominaban cuando fue escrita.

Según Richard Milner, Bryan se enfureció y dijo a Darrow que en desarrollo evolutivo «no hay lugar para milagros, y tanto el Antiguo como el Nuevo Testamento están llenos de milagros... [Los evolucionistas] suprimen el nacimiento virginal... la resurrección de los cuerpos... la doctrina de la redención. [Los científicos] creen que el hombre se halla en ascenso constante, que nunca sufrió la caída; que cuando el Salvador vino al mundo, no había razón alguna para que lo hiciera... [Gente venida de fuera] inculca a los hijos de quienes pagan impuestos en este estado una doctrina que niega... su fe en el Salvador y... en el cielo, y les arrebata toda norma moral propuesta por la Biblia».21

Por su parte, Darrow resumió sus argumentos de la siguiente manera: «Cuando el espíritu de la libertad ha huido de los corazones de las personas... [el] fanatismo y la ignorancia siguen estando activos... y no dejan de echar leña al fuego. Hoy son los profesores de las escuelas públicas; mañana, los de las privadas. Al día siguiente, los predicadores... las revistas, los libros, los periódicos. Al cabo de poco tiempo, señoría, el hombre se volverá contra el hombre y un credo contra otro credo, hasta que retrocedamos con banderas desplegadas y a tambor batiente hacia los tiempos gloriosos del siglo XVI, cuando los fanáticos encendían sarmientos para quemar a las personas

que osaban llevar a la mente humana algo de inteligencia, ilustración y cultura».

En la sentencia, Scopes fue declarado culpable —efectivamente, había violado una ley en vigor en Tennessee, la Ley Butler— y multado con cien dólares. Sin embargo, el veredicto fue finalmente revocado por un tecnicismo, y las autoridades de Tennessee no presentaron ningún recurso.

Victoriosos en Tennessee, los fundamentalistas contrarios a la idea de evolución presionaron en 1926 y 1927 para que se introdujeran en otros estados leyes anti-evolución similares a la Ley Butler, y lo lograron en Mississippi y Arkansas. No fue hasta 1967 cuando esa ley fue revocada en Tennessee, y el año siguiente el Tribunal Supremo de Estados Unidos declaró inconstitucional la ley de Arkansas. Sin embargo, esto no significó el final de los esfuerzos de los creacionistas, que pusieron en marcha una nueva estrategia, reclamando leyes de «Trato Equilibrado»; esto es, que se enseñase en las escuelas el creacionismo lo mismo que el evolucionismo, como dos teorías comparables.

Un momento importante en esta nueva estrategia tuvo lugar más de medio siglo después del juicio de Tennessee, cuando cristianos fundamentalistas de Arkansas presionaron a sus legisladores para que aprobaran la denominada «Ley 590», en la que se solicitaba el mismo tiempo, o un «trato equilibrado» para las teorías evolucionistas y el creacionismo bíblico. La ley en cuestión condujo a la celebración de un juicio en Little Rock (Arkansas) del 7 al 16 de diciembre de 1981 —al que los científicos llamaron «Scopes II»—, en el que, a iniciativa del reverendo Bill McLean y la American Civil Liberties Union, se pretendía recusar la nueva ley. La demanda no era contra ningún grupo creacionista, sino contra el Departamento de Educación de Arkansas, por pretender aplicar una ley anticonstitucional.

Entre los que testificaron por parte de la American Civil Liberties Union figuraron los paleontólogos Stephen Jay Gould y Niles Eldredge, ambos autores de una teoría de

la evolución, no exactamente igual a la darwiniana, denominada de «equilibrio puntuado», el filósofo de la ciencia Michael Ruse y el bioquímico Harold Morowitz.

El 5 de enero de 1982, el juez William Overton falló a favor del demandante, la American Civil Liberties Union. La ciencia de la creación, se estipulaba en la sentencia, no podía considerarse una explicación o teoría científica alternativa, añadiéndose que se trataba de una doctrina religiosa relativa al dios bíblico cristiano y al relato de la creación propuesto en el Génesis. Por consiguiente, la Ley 590, concluía Overton, era un intento de imponer la religión en una escuela sostenida por el Estado, lo que constituía una violación de la Primera Enmienda de la Constitución Federal. No obstante, el mismo día en que se hacía pública esta sentencia el Senado de Mississippi aprobó por abrumadora mayoría su propia ley de trato equilibrado.

Stephen Jay Gould (1941-2002), un extraordinario escritor además de magnífico científico, dedicó varios de sus celebrados ensayos a tratar estas cuestiones. Merece la pena citar unos pasajes de algunos de esos escritos. Así, en su ensayo «La evolución como hecho y como teoría», escribió:[22]

> Kirtley Mather, que murió el año pasado a los noventa años, era un pilar tanto de la ciencia como de la religión cristiana en Norteamérica, y uno de mis amigos más queridos. La diferencia de edades de casi medio siglo se evaporaba frente a nuestros intereses comunes. La cosa más curiosa que compartíamos era una batalla que libramos cada uno de nosotros a la misma edad. Pues Kirtley había ido a Tennessee con Clarence Darrow para testificar en favor de la evolución en el caso Scopes en 1925. Cuando pienso que estamos de nuevo enzarzados en la misma lucha por uno de los conceptos mejor documentados, más convincentes y excitantes de toda la ciencia, no sé si reír o llorar.
>
> De acuerdo con los principios idealizados del discurso científico, el despertar de cuestiones aletargadas debería representar la aparición de datos frescos, capaces de dar una vida renovada a ideas abandonadas. Aquellos que se encuentran fuera del debate actual pueden, por tanto, ser perdonados por

pensar que los creacionistas han aparecido con algo nuevo, o que los evolucionistas se enfrentan a algún grave problema interno. Pero nada ha cambiado; los creacionistas no han presentado ni un solo dato o argumento más. Darrow y Bryan, al menos, resultaban más entretenidos que nosotros, pobres antagonistas de hoy. El ascenso del creacionismo no es más que, pura y simplemente, política; representa un tema (ni mucho menos la principal preocupación) de la resurgente derecha evangélica. Las argumentaciones que hace tan sólo una década parecían tonterías han vuelto a incorporarse a la corriente principal.

Y más adelante, explicaba:[23]

En vernáculo norteamericano, «teoría» suele significar «dato imperfecto»: parte de una jerarquía de confianza que va, en sentido descendente, de los hechos a la teoría, de ahí a las hipótesis, y de éstas a la suposición. Así, los creacionistas pueden argumentar (y lo hacen): la evolución es «sólo» una teoría, y hoy existen intensos debates en torno a multitud de aspectos de esa teoría. Si la evolución es algo menos que un hecho y los científicos ni siquiera son capaces de ponerse de acuerdo acerca de la teoría, entonces ¿cómo vamos a tener confianza en ella? De hecho, el presidente Reagan se hizo eco de esta argumentación ante un grupo de evangélicos de Dallas cuando dijo (en lo que espero que sólo fuera retórica de campaña): «Bueno, es una teoría. Es sólo una teoría científica y en los últimos años ha sido puesta en tela de juicio en el mundo de la ciencia; esto es, la comunidad científica no piensa que sea tan infalible como lo fue en tiempos pasados».

Bueno, la evolución *es* una teoría. Es también un hecho. Y los hechos y las teorías son cosas diferentes, no escalones de una jerarquía de certidumbre creciente. Los hechos son los datos del mundo. Las teorías son estructuras de ideas que explican e interpretan los hechos. Los hechos no se marchan mientras los científicos debaten teorías rivales para explicarlos. La teoría de la gravitación de Einstein reemplazó a la de Newton, pero las manzanas no se quedaron colgando del aire pendientes de este resultado. Y los seres humanos evolucionaron, a partir de antepasados simiescos, ya fuera por medio del mecanismo propuesto por Darwin o por algún otro, aún por descubrir.[24]

No quiero, asimismo, dejar de citar el *Post scriptum* que

Gould añadió a otro de sus ensayos, incluido éste en su libro *«Brontosaurus» y la nalga del ministro*, en el que recordaba emocionadamente al juez Overton:[25]

> Mientras escribía este ensayo me enteré de la prematura muerte, de cáncer (a los cuarenta y siete años), del juez federal William R. Overton, de Arkansas. El juez Overton presidió y escribió la decisión en el caso *McLean contra Arkansas* (5 de enero de 1982), el episodio clave que condujo a nuestra victoria final en el Tribunal Supremo en junio de 1987. Con esta decisión, derogó la ley de Arkansas que obligaba a conceder un tiempo igual para explicar en las escuelas la «ciencia de la creación». Este precedente animó al juez Duplantier a derogar la ley similar de Louisiana mediante un juicio sumario (sin proceso). Después el Tribunal Supremo confirmó este juicio sumario en su decisión de 1987. (Puesto que Arkansas y Louisiana habían aprobado los únicos estatutos antievolutivos del país, estas decisiones cierran el caso.) La brillante y bien argumentada decisión del juez Overton es el más acabado documento legal que se haya escrito sobre esta cuestión, superando con mucho a cualquiera de los que generó el juicio de Scopes, o a cualquier documento surgido de los dos casos del Tribunal Supremo (*Epperson contra Arkansas*, de 1968, que derogaba las leyes de la época de Scopes que prohibían completamente la enseñanza de la evolución, y la decisión de 1987 que eliminaba la estrategia de «igual tiempo»). Las definiciones de ciencia que da el juez Overton son tan convincentes y están expresadas con tanta claridad que podemos utilizar sus palabras como modelo para nuestras propias actas. *Science*, la revista puntera de la ciencia profesional norteamericana, publicó palabra por palabra la decisión del juez Overton como un artículo principal.[26]
>
> Fui testigo en *McLean contra Arkansas*. Nunca hablé personalmente con el juez Overton, y pasé sólo parte de un día en su sala de tribunal. Pero, cuando enfermé de cáncer al año siguiente, supe por diversas fuentes que el juez Overton se había enterado de ello y había preguntado por mi salud a conocidos mutuos, pidiendo que me transmitieran sus mejores deseos. Lamento el fallecimiento de este hombre brillante y compasivo.

En la anterior cita Gould se refería a la decisión que el 8 de julio de 1985 tomó el Quinto Tribunal Federal de

Apelaciones de Estados Unidos derogando otra ley (similar a la de Arkansas) que se había aprobado en Louisiana, la Ley 685. «El efecto pretendido por la ley», se puede leer en la decisión del Tribunal, «es desacreditar la evolución contrapesando su enseñanza en cada caso con la enseñanza del creacionismo, que es una creencia religiosa.» Manifestaba también Gould su creencia de que, al ser Arkansas y Louisiana los únicos estados que habían aprobado estatutos antievolutivos, las decisiones en contra suya de los tribunales «cierran el caso». No ha sido así, como veremos a continuación. Como la mala hierba que vuelve a crecer cuando creemos que hemos acabado con ella, así los deseos de los creacionistas de compartir credibilidad y estatus con el evolucionismo científico han vuelto a resurgir en los últimos años, esta vez bajo un nombre diferente: en lugar de «Trato Equilibrado», ahora se habla de «Diseño Inteligente».

El Diseño Inteligente

En 1999, en efecto, el Consejo Escolar de Kansas aprobó eliminar la evolución, así como la teoría del *big bang*, de los programas científicos del Estado. No se prohibía su enseñanza, pero sí que el tema se incluyese en los exámenes que se realizaran en todo el estado. Asimismo, en octubre y noviembre de 2004 la Junta de Directores de Escuela del Área de Dover (Pensilvania) aprobaba una serie de normas (a las que volveré enseguida) que claramente pretendían, cuando menos, colocar al mismo nivel el Diseño Inteligente (la idea de que alguien —un Dios— debió de diseñar la vida, y en particular la humana) al mismo nivel que el evolucionismo científico, que a su vez veía rebajado su estatus científico.

A primeros de agosto de 2005, el presidente George Bush apoyó semejantes movimientos, que usan la vieja táctica de utilizar otras palabras: en lugar de «creacionismo», ahora se habla de Diseño Inteligente. Concretamente, lo que hizo fue manifestar que se debería

tratar del Diseño Inteligente al mismo tiempo que de la evolución cuando se enseña a los estudiantes acerca de la creación de la vida. «Creo», dijo, «que parte de la educación es exponer a la gente a diferentes escuelas de pensamiento.»

Aunque éste es un libro de historia, y el historiador debe intentar —acaso sea una vana ilusión, aunque sin duda merecedora de los mayores esfuerzos— que sus opiniones personales no contaminen sus reconstrucciones y presentaciones, no quiero dejar de exponer mis opiniones en este, tan importante, punto y tema. «Exponer a la gente a diferentes escuelas de pensamiento», decía el presidente Bush. Puede sonar bonito, incluso democrático, pero oculta falacias evidentes: en aras a semejante principio «pluralista», ¿debemos enseñar los principios de la democracia junto a los de la tiranía?, ¿dedicar el mismo tiempo a la alquimia que a la química, a la física de Aristóteles que a la de Einstein?, ¿introducir a los jóvenes en los principios de la magia al mismo tiempo que nos esforzamos en enseñarles los fundamentos de la lógica, el pensamiento racional y la ciencia? Se olvidan, por otra parte, los que argumentan como el señor Bush, de un detalle importante: hasta la fecha la enseñanza de la religión —esto es, del creacionismo o del Diseño Inteligente — ha ocupado mucho más espacio y tiempo en los programas de estudio que la idea o teoría de la evolución. Quien necesita más ayuda no es la enseñanza de las religiones, que cuentan con todo tipo de instrumentos de promoción, dentro y fuera de la escuela, sino el evolucionismo.

Hay otro argumento, que casi es vergonzoso recordar: el creacionismo, el Diseño Inteligente, puede consolar nuestras existencias (lo que es perfectamente comprensible), pero jamás ha explicado nada. Nos protege ante el desamparo de una existencia cuyo origen y sentido desconocemos, pero en modo alguno ilumina nuestro entendimiento, esa facultad que tanto valora nuestra especie. Por el contrario, la idea de la evolución, ya sea a la manera de Darwin o en otras versiones, no explica todo,

por supuesto, pero sí muchas cosas, y cada vez más.

En realidad el señor Bush no era sino la punta más notoria de un enorme iceberg del que forman parte instituciones como The Discovery Institute, fundado en 1991 por un alto oficial de la administración Reagan. El Diseño Inteligente se convirtió en una parte tan importante de las actividades de este Instituto que creó una división, el Centro para la Renovación de la Ciencia y la Cultura, que dedicaba (y dedica, creo, cuando escribo estas líneas) todo su tiempo a esa causa. Su táctica ha sido resumida con las siguientes palabras: «Utilizar el Diseño Inteligente como un instrumento para combatir la evolución y así promover una agenda político-religiosa conservadora».

Afortunadamente, el sistema judicial estadounidense es lo suficientemente fuerte y riguroso como para eliminar tales desafueros, y así el 20 de diciembre de 2005 el juez John E. Jones III de la Corte del Distrito Medio de Pensilvania anuló los acuerdos de la Junta de Directores del Área de Dover, a la que antes me he referido. Terminaré esta sección y este capítulo citando los pasajes más pertinentes de esta resolución, que continúa la tradición, alabada por Gould, de las decisiones e informes de jueces como Darrow y Overton:27

> El 18 de octubre de 2004, la Junta de Directores de Escuela del Área de Dover (Pensilvania) aprobó, por seis votos contra tres, la siguiente resolución:
>
> «Los estudiantes serán informados de las lagunas/problemas en la teoría de Darwin y en otras teorías de la evolución, incluyendo, pero no limitándose al Diseño Inteligente».
>
> El 19 de noviembre, el representante del Distrito Escolar del Área de Dover anunció en una nota de prensa que a partir de enero de 2005 los maestros estarían obligados a leer a los estudiantes del noveno grado de la clase de biología de la Dover High School la siguiente declaración:
>
> «Los estándares académicos de Pensilvania exigen a los estudiantes que aprendan la teoría de la evolución de Darwin y que en su momento sean sometidos a un examen estándar del que la evolución forma parte.»
>
> Como la teoría de Darwin es una teoría, continúa siendo sometida a pruebas según se descubren nuevas evidencias. La

teoría no es un hecho. Existen lagunas en la teoría para las que no existe ninguna evidencia. Una teoría se define como una explicación bien comprobada que unifica un amplio rango de observaciones.

El Diseño Inteligente es una explicación del origen de la vida que difiere del punto de vista de Darwin. El libro de referencia, *Of Pandas and People [Sobre pandas y personas]*, se encuentra disponible para estudiantes que puedan estar interesados en obtener información sobre lo que implica en la actualidad el Diseño Inteligente.

Se anima a los estudiantes a que mantengan una mente abierta con respecto a cualquier teoría. La escuela deja la discusión de los orígenes de la vida a los estudiantes individuales y a sus familias.

Tras este preámbulo seguía una larga exposición que terminaba con la siguiente «Conclusión»:

Tanto los demandados como muchos de los principales defensores del Diseño Inteligente (DI) hacen una suposición de partida que es radicalmente falsa. Su presuposición es que la teoría evolucionista es incompatible con la creencia en la existencia de un ser supremo y con la religión en general. Repetidamente en este juicio, los expertos científicos del demandante han testificado que la teoría de la evolución representa buena ciencia, es abrumadoramente aceptada por la comunidad científica y de ninguna manera entra en conflicto, ni niega, la existencia de un divino creador.

Sin duda, la teoría de la evolución de Darwin es imperfecta. Sin embargo, el hecho de que una teoría científica no pueda suministrar una explicación de todas las cuestiones no debería utilizarse como un pretexto para promover en las clases de ciencias una hipótesis alternativa, basada en la religión, que no se puede comprobar, o para minusvalorar proposiciones científicas bien establecidas.

Los ciudadanos del área de Dover han sido pobremente servidos por los miembros de la Junta que votaron para una política de DI. Es irónico que varios de estos individuos, que tan firme y orgullosamente pregonaron sus convicciones religiosas en público, hayan mentido una y otra vez para encubrir sus caminos y disimular el verdadero propósito detrás de la política del DI.

Una vez dicho esto, no cuestionamos que muchos de los

principales defensores del DI tienen *bona fide* y creencias profundamente mantenidas que dirigen su comportamiento académico. Ni cuestionamos que el DI debería continuar siendo estudiado, debatido y discutido. Tal y como hemos señalado, nuestra conclusión hoy es que es inconstitucional enseñar el DI como una alternativa a la evolución en la clase de ciencias de una escuela pública.

Aquellos que no están de acuerdo con nuestra conclusión probablemente la considerarán el producto de un juez activista. Si piensan así, se habrán equivocado ya que ésta es manifiestamente una Corte no activista. Más bien, este caso ha llegado a nosotros como resultado del activismo de una mal informada facción de la Junta de una escuela, ayudada por una firma de abogados dedicada al interés público nacional, ansiosa de encontrar un caso de prueba constitucional en el DI, que condujo a la Junta a adoptar una imprudente y finalmente anticonstitucional política. La pasmosa necedad de la decisión de la Junta es evidente cuando se la contrasta con el telón de fondo que ahora ha sido revelado de forma completa a través de este juicio. Los estudiantes, padres y maestros del Distrito Escolar del Área de Dover merecían algo mejor que ser conducidos a este torbellino legal, con su subsiguiente completa pérdida de recursos monetarios y personales.

Capítulo 4

LA MEDICINA COMO CIENCIA EXPERIMENTAL EN EL SIGLO XIX

La medicina, una ciencia y una técnica singulares

Si se habla de poder y ciencia, es imposible olvidar a la medicina, una disciplina, a caballo entre la ciencia y la técnica, con más de un punto de «arte» (entendido como una sutil mezcla de experiencia profesional y sensibilidad ante las necesidades del paciente), frente a la que nadie es ajeno.[1] Podemos, en efecto, encontrar con cierta facilidad personas que ignoran todo, absolutamente todo, acerca de las leyes del movimiento newtoniano, de la geometría euclidiana, de las leyes o significado de la combinación química o de la paleontología, incluso que no sepan que existen materias como la física, la matemática o la química, pero difícilmente encontraremos a alguien que desconozca la existencia de la medicina y que no sepa que su objetivo tiene que ver con el cuerpo humano, con su bienestar y conservación.

De hecho, la medicina ha acompañado a los humanos desde tiempos inmemoriales. En los primeros registros históricos ya se encuentran datos que tienen que ver con ella. Así, en el denominado «Papiro Edwin H. Smith», descubierto en Luxor en 1862 y datado como perteneciente al siglo XVII a.C., esto es, al Imperio antiguo egipcio (es, en realidad, copia de un texto anterior perdido), aparecen 48 descripciones incompletas de enfermedades, auténticas recetas médicas: «Si examinas un hombre que tiene una herida abierta en la cabeza», dice una de ellas, «que penetra en el cuerpo [y] deja el cerebro al descubierto, deberás palpar su herida... Cuando suceda que no palpite y ceda

bajo tus dedos mientras que el cerebro está al descubierto [y el paciente] arroja sangre por ambas fosas nasales [y] tiene rigidez en el cuello, dirás acerca de él: una enfermedad que no es posible curar. Deberás untar esta herida con grasa. No la vendarás, ni le pondrás hilas, hasta que conozcas que ha alcanzado un punto decisivo».

El autor o autores de este diagnóstico resumían en él una larga tradición empírica, tan iluminada por la evidencia como oscurecida por la ignorancia de los motivos últimos que justificaban el procedimiento que se sugería. Algo menos de dos mil años más tarde, el gran Galeno de Pérgamo (129-194), cuyo nombre se convertiría con el paso del tiempo en sinónimo de médico, no sabía mucho más acerca de las causas últimas que justificaban las recetas médicas, ni del porqué de las enfermedades. Sus conocimientos empíricos habían aumentado considerablemente desde el tiempo de los egipcios, es cierto, sabía mucho más acerca de la composición del cuerpo humano —mil novecientos años no pasan en vano —, pero todavía escribía cosas como:2 «Cuando sospeches que en las venas de todo el cuerpo se contiene sangre melancólica [la producida por aquel con "humor melancólico, bilioso o flemático"], consigue un diagnóstico más fiable mediante el corte de la vena del codo. Es mejor cortar la vena media, puesto que es común a una y otra vena, tanto a la llamada vena humeral como a la que llega al brazo a través de la axila. Después, si lo que brota no pareciera melancólico, detente inmediatamente. Pero si pareciera tal, vacía cuanta consideres suficiente de acuerdo con la constitución del cuerpo enfermo».

Por el largo camino que condujo de Galeno al siglo XIX, del que me voy a ocupar en el presente capítulo, transitaron muchas personas, generaciones y generaciones, interesadas en la medicina que hicieron de ella su profesión. Algunas han dejado un recuerdo especial en los registros históricos, como son los casos, por mencionar algún ejemplo, de Andreas Vesalio (1514-1564) y de William Harvey (1578-1657). Asociamos y asociaremos siempre a Vesalio

con un libro que escribió: *De humani corporis fabrica libri septem* (*Los siete libros de la fábrica del cuerpo humano*, aunque también se ha traducido como *Sobre la arquitectura del cuerpo humano*;1543), el que defendió con vigor y sabiduría la práctica anatómica, la disección, como base imprescindible para la comprensión de la estructura y funciones del cuerpo humano (mostró que lo que había hecho Galeno, el gran Galeno, fue diseccionar monos y animales no humanos, suponiendo sin embargo que las características anatómicas que encontraba en ellos servían también para los humanos). Por su parte, Harvey, autor de textos como *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus* (*Una disquisición anatómica relativa al movimiento del corazón y la sangre en los animales*; 1628), fue un observador incansable de la vida animal en todas sus formas, y llevó a cabo investigaciones originales sobre, entre otros temas, los movimientos del corazón, respiración, funciones del cerebro, anatomía patológica, y generación y locomoción animal. Fue uno de los primeros y más importantes fisiólogos de la historia.

Podría añadir más nombres a esta lista, recordar avances que se produjeron antes, al mismo tiempo o después que Harvey, pero lo que me importa en este capítulo y libro es señalar que por muchos que fuesen tales avances, hasta el siglo XIX la medicina no dio un salto cualitativo en el conocimiento y lucha contra las enfermedades, y que esto fue posible gracias, en primer lugar, al desarrollo que experimentó entonces la fisiología. De la mano de ésta, se constituyó lo que entonces se denominó «medicina científica», una medicina que no fuese ajena a ciencias imprescindibles para conocer y comprender los procesos biológicos, como son la física y la química. Hasta el siglo XIX, en la medicina la experiencia, el conocimiento empírico, primaba sobre el científico. Se trataba, además, de un conocimiento empírico impregnado por, o, si se prefiere, en el que abundaban creencias heredadas de la Antigüedad.

Decía antes que si se habla de poder y ciencia, es imposible olvidar la medicina. Y ninguna evidencia mejor a favor de esta afirmación que la medicina decimonónica, ya que gracias a ésta, al desarrollo que experimentó o comenzó a experimentar entonces —y que intentaré explicar en el presente capítulo—, la salud pública terminó mejorando radicalmente. Si consideramos, por ejemplo, la variación de la población mundial, observamos el crecimiento que se produjo a partir de mediados del siglo XVIII.

Población mundial (1750-1950)
(cifras en millones)[3]

Zona	[illegible]
Total mundial	[illegible]
África	[illegible]
América	[illegible]
Asia	[illegible]
Europa	[illegible]
Oceanía	[illegible]
URSS	[illegible]

Las causas de los crecimientos que se observan en esta tabla son, sin duda, diversas. El perfeccionamiento de las técnicas y organizaciones productivas y la disponibilidad de medios más poderosos para producir energía (Revolución Industrial), que permitieron mejores niveles de alimentación para importantes grupos sociales, independientemente de que pudiesen estar rodeados de miseria, o de condiciones medioambientales completamente insalubres, son dos de esas causas posibles. Otra, menos obvia, relacionada con el desplazamiento humano que tuvo lugar a partir del siglo XIX del campo a las ciudades, es la que señaló el distinguido historiador William McNeill:[4] «En todas las comunidades rurales estables, la costumbre fijaba ciertos controles sobre el matrimonio, cuyo efecto era reducir las tasas de natalidad a cifras que más o menos compensaban las tasas de mortalidad y migración de la aldea. Las diversas reglas sobre las dotes, por ejemplo,

tenían en muchas comunidades el efecto de postergar la boda hasta el momento en que la novia y el novio tenían propiedades suficientes para asegurar a la nueva familia un nivel de vida semejante al que habían conocido sus padres. En los medios urbanos, donde había prevalecido tradicionalmente una pérdida de población, restricciones similares a la boda y a la procreación tempranas estaban limitadas de manera característica a las clases sociales más ricas. Los jóvenes pobres de la ciudad, entre quienes la ocupación no solía ser hereditaria, no tenían motivo para esperar a que sus padres llegaran a la edad de la jubilación, como de hecho lo fijaban a menudo las reglas campesinas sobre la dote. Por ello las más antiguas restricciones al matrimonio o a la procreación temprana entre jóvenes se debilitaron o decayeron completamente en los medios urbanos. Esto, junto con la retirada de la enfermedad epidémica como factor de drenaje en las poblaciones humanas a partir de 1900 (o, en Asia, a partir de 1945), es la base del aumento verdaderamente extraordinario de la población en nuestra época».

El hecho de que la población de África no aumentase hasta el período 1850-1950 es coherente con las anteriores explicaciones, ya que el continente africano continuó durante mucho tiempo en una situación de retraso (y desamparo) en lo que se refiere a avances médicos, científicos y tecnológicos, de la que de hecho aún no se ha librado.

Como el propio McNeill indicaba al final de la cita que he utilizado, un elemento importante detrás del crecimiento de población del que estoy hablando fue la disminución de la mortalidad debido a enfermedades infecciosas. En este punto hay, sin embargo, que señalar que esa disminución fue un proceso en realidad lento (volveré a esta cuestión más adelante), en el que además de los avances científicos, de la comprensión de la etiología de esas enfermedades —sin la cual, por supuesto, no habría sido posible luchar satisfactoriamente contra tales males—, fue esencial una mejor organización de las instituciones y procedimientos

tradicionales de salud pública. Y esa «mejor organización» tenía también una dimensión claramente sociopolítica: permitir acceder a mejores tratamientos médicos a los más desfavorecidos. En este sentido, hay que recordar la creación de organizaciones de salud nuevas, como las *friendly societies*, que en España se denominaron «sociedades de socorros mutuos», que aseguraban atenciones médicas a los obreros industriales de las ciudades basadas en seguros voluntarios, o los seguros obligatorios de enfermedad, que introdujo por primera vez en 1884 el canciller prusiano Bismark.

Pero esta historia es demasiado extensa y compleja como para poder detallarla aquí, aunque nos encontraremos con apuntes de ella más adelante, a propósito de Rudolf Virchow. Quiero, de todas maneras, insistir en que en este caso nos encontramos con un claro ejemplo de las complejas y necesarias relaciones entre ciencia y poder político. Sin el conocimiento científico ninguna acción política podría haber tenido el éxito que finalmente se consiguió. Aunque, por ejemplo, la alimentación y la higiene mejorasen, algo que, como es bien sabido, no siempre sucedió (el crecimiento de las ciudades —en las que, cierto es, se introdujeron mejoras tan necesarias como el alcantarillado— y las condiciones de trabajo y de vivienda para las clases trabajadoras no siempre —o rara vez— fueron ejemplares), para luchar con éxito contra enfermedades y epidemias era necesario conocer las causas de esos males, lo que se fue consiguiendo —no sin problemas y retrasos— a lo largo del siglo XIX y primeras décadas del XX gracias a avances en fisiología, microbiología o patología, y a logros científicos como la teoría microbiana de la enfermedad o la introducción de técnicas de asepsia. Por mucho que mejorase la organización de, y acceso a, los hospitales, sin esas técnicas de asepsia y sin los conocimientos de los gérmenes causantes de las enfermedades infecto-contagiosas y la aclaración de los mecanismos de su transmisión, no hubiera sido demasiado lo que en última instancia habría podido hacerse para

reducir la mortalidad. Por todo esto, en este capítulo me voy a ocupar del desarrollo de la medicina «científica» en el siglo XIX.[5]

La fisiología decimonónica

A comienzos del siglo XIX, la fisiología no existía como disciplina independiente; se encontraba firmemente unida a la anatomía, lo que implicaba que las funciones vitales no eran explicadas, si acaso localizadas. «La anatomía descriptiva», escribió Claude Bernard en su última obra, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (*Lecciones sobre los fenómenos de la vida comunes a los animales y a los vegetales*; 1878), publicada póstumamente, «es a la fisiología lo que la geografía a la historia, y al igual que no es suficiente conocer la topografía de un país para comprender su historia, tampoco es suficiente conocer la anatomía de los órganos para comprender sus funciones».[6] Antes, en 1816, François Magendie (1783-1855), uno de los científicos (nos apareció brevemente en el capítulo 2) que más hizo para cambiar la situación en que se encontraba la fisiología (fue uno de los primeros defensores radicales de la investigación empírica y experimental para comprender el funcionamiento orgánico: un «trapero de datos» se definía a sí mismo), señalaba en su *Précis élémentaire de physiologie* (*Compendio elemental de fisiología*) el retraso en que se encontraba su disciplina:[7]

> Las ciencias naturales han tenido, igualmente que la historia, sus tiempos. La astronomía ha empezado por la astrología; la química hace poco no era más que un conjunto pomposo de sistemas absurdos, y la fisiología un largo y fastidioso romance; la medicina, un cúmulo de preocupaciones hijas de la ignorancia y el temor de la muerte…
>
> Tal fue el estado de las ciencias naturales hasta el siglo XVII. Entonces apareció Galileo, y los sabios pudieron aprender que para conocer la naturaleza no se trataba de forjarla ni de creer lo que habían dicho los autores antiguos, sino que era menester observarla y preguntarle además por medio de experimentos.

> Esta fecunda filosofía fue la de Descartes y Newton, la propia que les inspiró constantemente en sus inmortales tareas. La misma que poseyeron todos los hombres de ingenio que en el siglo último redujeron la química y la física a la experiencia...
>
> Ojalá pudiera decir que la fisiología, esta rama tan importante de nuestros conocimientos, ha tomado el mismo vuelo y sufrido la misma transformación que las ciencias físicas, pero, por desgracia, no es así. La fisiología, para muchos, y aun en casos todas las obras de este dominio, aparece tal cual era en el siglo de Galileo, un juego de imaginación; tiene sus diferentes creencias y sus opuestas sectas; invoca la autoridad de los autores antiguos, los cita como infalibles y pudiera llamarse un cuadro teológico caprichosamente lleno de expresiones científicas.

Por entonces, sin embargo, ya habían comenzado a fructificar algunas semillas plantadas antes. Una de esas semillas, la más importante para la cuestión que nos ocupa, fue la teoría de la respiración de Lavoisier y Laplace. Según esta teoría, la respiración es una forma de combustión en la que carbono (procedente, por ejemplo, de los alimentos) y oxígeno se oxidan (o, en otras palabras, el oxígeno quema al carbono) convirtiéndose en dióxido de carbono y agua, desprendiendo calor, el mismo calor que, argumentaban, se produce en animales de sangre caliente. La respiración, en definitiva, pasaba a ser considerada una forma lenta de oxidación, en la que el oxígeno del aire desempeña el papel principal, y no otros gases que se encuentran también en el aire (como el nitrógeno), que se exhalan, inalterados, durante la respiración.

En principio, Lavoisier y Laplace demostraron la equivalencia de ambos procesos —respiración y oxidación — a través de medidas calorimétricas al igual que recogiendo y analizando los gases que intervienen en la respiración, y también, en 1783, utilizando un conejillo de Indias (de ahí la expresión «hacer de conejillo de Indias»). En la práctica, no obstante, la cuestión dejó abiertos importantes problemas que ocuparon durante el siguiente medio siglo a algunos científicos, especialmente a químicos parisinos (como Claude Louis Berthollet, Pierre Dulong o

César-Mansuète Despretz), quienes recurrieron en sus experimentos a versiones mejoradas de los instrumentos utilizados por Lavoisier, instrumentos como calorímetros, cámaras neumáticas y gasómetros.

No fueron, sin embargo, sólo franceses los que se interesaron por la teoría de combustión lavoisieriana. En Alemania, Johannes Müller (1801-1858), el maestro de una generación de científicos que cambiarían la situación de la fisiología (entre sus discípulos se cuentan figuras como Theodor Schwann, Emil du Bois-Reymond, Ernst Brücke, Carl Ludwig, Rudolf Virchow, Jakob Henle y Hermann von Helmholtz), apreciaba la contribución de esa química a la fisiología, pero también veía problemas. Reconocía que investigaciones recientes de Dulong y Despretz habían demostrado que alrededor de la séptima parte del calor producido en la respiración se podía explicar según la formación del dióxido de carbono, pero no aceptaba que se hubiese demostrado que la fuente del resto del calor se debiese a que la parte de oxígeno inhalado que no se convertía en dióxido de carbono se combinase con hidrógeno para formar agua. Era mucho más probable que el vapor de agua que se detectaba en el aire exhalado procediese simplemente de la evaporación producida en las superficies húmedas de los pulmones, que de la oxidación del hidrógeno.8

En realidad, los problemas de Müller eran de índole diversa, y es precisamente por este motivo por lo que su caso es particularmente interesante. Por un lado, se daba cuenta del valor que tenían ciencias naturales como la química para comprender los procesos de los que se ocupaba la fisiología, pero por otro, como fisiólogo, para él desempeñaba un papel central la constatación de que las variaciones en la producción de calor animal se debían a un conglomerado de motivos repartidos por las diferentes partes del cuerpo. Al contrario que en los objetos cuyo estudio había hecho avanzar la química o la física hasta los niveles en que se encontraba entonces, en los que estudiaba la fisiología, la localización precisa era muy complicada, un

hecho este que cualquier libro de texto no deja de apuntar; como, por poner un ejemplo, el que escribió a comienzos del siglo XX José Gómez Ocaña (1860-1926), uno de los pioneros españoles en fisiología, *Fisiología humana, teórica y experimental*, en el que podemos leer frases como las siguientes:9 «En física y en química, la experimentación es muy difícil; pero satisface los fines de estas ciencias, porque las condiciones son exteriores, determinables y fácilmente previstas; y, además, poco importa a las investigaciones físico-químicas el desconocimiento de la total unidad del universo, pues con la determinación de las leyes que rigen los fenómenos particulares les basta. En cambio, los seres vivos son unidades funcionales, y ni el fisiólogo ni el médico pueden perder de vista al total individuo en sus investigaciones, porque éstas tienen por fin inmediato y urgente la evitación, alivio y cura de las enfermedades. Añádase a este supremo interés la complicación que induce en los fenómenos organizados su solidaridad, armonía y reciprocidad, y se comprenderán las inmensas dificultades que se impone el médico experimentador y el limitado fruto que puede esperar de la experimentación».

Volviendo a Müller, nos encontramos con que a pesar de reconocer el valor que para la fisiología tenía la química, todavía se movía en un profundo conflicto interno, no pudiendo evitar tener en cuenta la posible existencia de otras fuerzas no reducibles a las físico-químicas. Tal conflicto se observa con bastante claridad en las primeras secciones de su tratado de fisiología, donde podemos leer:10 «En realidad se encuentran las mismas inverosimilitudes al refutar la generación espontánea como al quererla admitir, pues los experimentos directos son muy difíciles en el estado actual de la ciencia».

No nos debe extrañar la ambivalencia en la que se movía. Los primeros momentos de una nueva era —y el siglo XIX fue para las ciencias biomédicas una nueva era— son terrenos propicios para la indecisión, para «nadar entre dos aguas», para combinar, en una turbia mezcla, algo de lo que terminará siendo el «viejo» —pero que todavía no es—

mundo, con el «nuevo». En el caso de Müller, el viejo mundo que se resistía a abandonar era el de la existencia de otras fuerzas no reducibles a las físico-químicas; esto es, el mundo del vitalismo.

Del vitalismo al principio de conservación de la energía

«Todavía a comienzos de este siglo [el XIX]», recordaba en uno de sus artículos el gran fisiólogo, físico y matemático Hermann von Helmholtz (1821-1894), uno de los gigantes de la ciencia del XIX, y, en general, de todos los tiempos, «los fisiólogos creían que era el principio vital el que producía los procesos de la vida, y que se rebajaba la dignidad y naturaleza de ésta si alguien expresaba la creencia de que la sangre era conducida a través de las arterias por la acción mecánica del corazón, o que la respiración tenía lugar siguiendo las leyes habituales de la difusión de los gases. Por el contrario, la generación actual trabaja duramente para encontrar las causas reales de los procesos que tienen lugar en un cuerpo vivo. No suponen que exista ninguna diferencia entre las acciones químicas y las mecánicas en el cuerpo vivo y fuera de él.»11

Esa generación —generaciones, realmente— a la que se refería Helmholtz trabajó duramente, cierto es, y lo hizo utilizando con profusión escenarios que no siempre coincidían con los que sus predecesores habían preferido. Y es que el vitalismo fue finalmente abandonado cuando la investigación experimental de laboratorio pasó a ser una fuente primordial de la medicina.

Así, gracias a la química resultante de la revolución que había encabezado Lavoisier, se pudo acometer el análisis de la composición tanto de sustancias inorgánicas como de origen biológico, comprobándose que las primeras contenían elementos que aparecían también en las segundas, por lo que llegó a aceptarse de modo casi general que no existía diferencia entre ambas desde el punto de vista químico. Un hito en este sentido fue la obtención de la urea, en 1828, a partir del cianato amónico, una sustancia

inorgánica, por el alemán Friedrich Wöhler (ya nos apareció en el capítulo 2), que había estudiado medicina en las Universidades de Marburgo y Heidelberg, y química en Estocolmo, donde fue ayudante de Berzelius, uno de los padres de la química moderna.

En conjunto, por el complejo universo de la fisiología de la primera mitad del siglo XIX circularon todo tipo de ideas, técnicas y problemas. Junto a las teorías encaminadas a explicar los fenómenos químicos de la respiración, a las que ya me he referido, es posible —y obligado— mencionar las investigaciones sobre fenómenos como la putrefacción y la fermentación, que para unos (como Liebig) eran simplemente descomposiciones químicas, que ocurrían espontáneamente o con ayuda del oxígeno atmosférico, mientras que para otros (como Helmholtz) estaban ligadas a la presencia de microorganismos que se producen solamente por reproducción (hasta los resultados de Louis Pasteur, la teoría de la descomposición de Liebig mantendría su influencia).

Aquellos que combatían los principios vitalistas buscaban dar a la medicina una base científica, demostrando, entre otras cosas, que las enfermedades no eran nada más que desviaciones de los procesos fisiológicos normales. Convencidos de que tales procesos obedecían a leyes deterministas de la naturaleza, argumentaban que la medicina, la verdadera medicina, esto es, la *medicina científica*, debería encaminarse a determinar cómo se comportaban los cuerpos, sujetos a tales leyes, bajo condiciones alteradas. Así, en sus declaraciones programáticas, estos científicos (médicos, con frecuencia, pero no sólo médicos) hacían hincapié en la utilización de experimentos fisiológicos, anatomía patológica, microscopia, química, física y, por supuesto, observaciones clínicas, como las herramientas básicas para analizar las funciones corporales y la aparición de enfermedades. Y para ello necesitaban instrumentos refinados. Es ilustrativo el caso de Emil du Bois-Reymond, que se distinguió por sus

trabajos en electrofisiología, una disciplina cuyos orígenes se pueden asociar con la publicación de las investigaciones de Luigi Galvani, en 1791, con ranas decapitadas y el subsiguiente debate que mantuvo con Alessandro Volta sobre la naturaleza de la «electricidad animal». A lo largo de su carrera, du Bois-Reymond concentró sus investigaciones en el desarrollo de dos tipos de instrumentos: electrodos para la conducción de corrientes bioeléctricas débiles sin distorsión y aparatos para detectar y amplificar estas corrientes. Esta línea de investigación, en la que medicina, fisiología, química y física se fecundaban y enriquecían mutuamente, terminó conduciendo a la enunciación de uno de los instrumentos más fecundos para la ciencia de los siglos XIX y XX, el principio de conservación de la energía, formulado en su forma más general por Helmholtz en 1847.

Hermann von Helmholtz: de la fisiología a la física

El ejemplo de Hermann von Helmholtz es especialmente significativo. Nacido en Potsdam, en 1838, Helmholtz se trasladó a Berlín para iniciar sus estudios médicos en el Instituto Federico Guillermo Médico-Quirúrgico, una escuela de medicina destinada a formar médicos militares. El que eligiese esta escuela se debía a que su familia no poseía medios suficientes, y en el Instituto Federico Guillermo los estudiantes no tenían que pagar (de hecho recibían un estipendio), a cambio de comprometerse a dedicar los ocho años siguientes a su graduación al servicio del ejército prusiano.

En 1841, decidió intentar escribir una tesis doctoral, bajo la dirección de Müller. El tema que seleccionó fue el de la estructura del sistema nervioso en los invertebrados, descubriendo que las fibras nerviosas surgen de unas células que habían sido identificadas en 1833 por el fisiólogo alemán Christian Gottfried von Ehrenberg, y que éste difundió especialmente en su tesis doctoral: *De fabrica systematis nerviosi evertebratorum* (*La estructura del sistema*

nervioso en los invertebrados), defendida el 2 de noviembre de 1842.

Una vez finalizados sus estudios, en octubre de 1843, Helmholtz fue nombrado oficial médico y destinado al hospital militar de Potsdam. Allí permaneció cinco años. Como sus obligaciones médicas no eran excesivas pudo compatibilizarlas con la investigación, y estableció un pequeño laboratorio en un barracón, en el que se dedicó a estudiar la producción de calor durante la contracción muscular, dándose cuenta de que la explicación del calor animal en función de transformaciones químicas en los músculos encajaba perfectamente con los propósitos de una física que no fuese ajena a los fenómenos orgánicos. Demostró entonces que el calor no era transportado a los músculos a través de los nervios o de la sangre, sino que era producido por los propios tejidos. Cuantificando estos hechos fisiológicos, dedujo un equivalente mecánico del calor que incorporó en su gran memoria de 1847, *Über die Erhaltung der Kraft* (*Sobre la conservación de la fuerza*),12 un trabajo que le ayudó, de la mano del influyente geógrafo y naturalista Alexander von Humboldt, a obtener permiso para abandonar (en 1848) el ejército y aceptar la oferta de enseñar anatomía en la Academia de Bellas Artes de Berlín.

El que fuese un médico (Helmholtz) quien, realizando investigaciones fisiológicas y beneficiándose de los conocimientos acumulados en la física, formulase en toda su generalidad el principio de conservación de la energía tiene lecturas evidentes y muy instructivas.13 Como he indicado, este principio fue uno de los instrumentos más fecundos para la física decimonónica. Y no sólo de entonces, ya que continúa siendo hasta la fecha uno de los pilares de la física. Pues bien, ese pilar recibió su forma definitiva dentro de una disciplina que no era la física, un detalle que nos muestra que no es posible entender la historia de la física del siglo XIX sin tener en cuenta al mismo tiempo la de la medicina y fisiología. Precisamente debido a este hecho, podemos comprender la carrera académica de Helmholtz a partir de 1847.

Lo último que había dicho acerca de su carrera es que en 1848 pudo, con la ayuda de Humboldt, abandonar el ejército y aceptar la oferta de enseñar anatomía en la Academia de Bellas Artes de Berlín. Allí estuvo únicamente un año, y a continuación pasó a Königsberg como profesor asociado (catedrático desde 1851) de Fisiología, donde permaneció seis años, durante los cuales continuó sus investigaciones en fisiología de los nervios (midiendo, por ejemplo, la velocidad de los impulsos nerviosos), entrando, asimismo, en la óptica y acústica fisiológica, áreas en las que siguió interesándose durante los siguientes veinte años. Preparando una de sus clases, se dio cuenta de que las sencillas leyes de la óptica geométrica le permitían construir un instrumento de gran importancia potencial para la comunidad médica: el oftalmoscopio.

Lo que en realidad Helmholtz quería era describir el fenómeno, observado por William Cummings, un médico inglés, y por Ernst Brücke, mediante el cual el ojo humano brilla en una habitación oscura cuando se dirige luz hacia él y un observador permanece próximo a la fuente luminosa. Ni Cummings ni Brücke habían podido ver la estructura interna del ojo; siempre que se acercaban a él lo suficiente para escudriñar dentro, el destello procedente de la fuente luminosa se difundía sobre toda la pupila. Mientras preparaba su clase, Helmholtz se preguntó cómo producían una imagen los rayos de luz reflejados; se vio conducido de esta manera a estudiar las trayectorias de los rayos, descubriendo que éstos seguían caminos idénticos tanto al entrar como al salir del ojo, lo que le permitió explicar la incapacidad de Brücke de ver la estructura interna. Para observarla habría tenido que situarse directamente en la trayectoria de los rayos, bloqueando así la fuente luminosa.

Una vez interesado en el problema, Helmholtz tardó únicamente ocho días en resolverlo y en inventar un instrumento que le permitía ver la retina de un ojo vivo.

En diciembre de 1850, Helmholtz escribió a su padre expresando su sorpresa porque nadie antes que él hubiese dado con la idea del oftalmoscopio, que, añadía, solamente

necesitaba de sencillas leyes de óptica geométrica. Sin embargo, subestimaba el conocimiento teórico que se necesitaba para comprender la óptica geométrica en la que se basaba el oftalmoscopio, así como el valor de su formación pluridisciplinar, algo que queda patente en lo que escribió en su autobiografía:[14]

> Conocía bien, de mis estudios médicos, las dificultades que tenían los oftalmólogos con los problemas entonces agrupados bajo el nombre de amaurosis, e inmediatamente me puse a construir el instrumento utilizando lentes de gafas y láminas de vidrio de las empleadas como portamuestras en los trabajos con microscopio. Al principio era difícil de usar, y si no hubiese tenido la firme convicción teórica de que tenía que funcionar, no habría perseverado. Al cabo de una semana, sin embargo, tuve el gran placer de ser el primer hombre en contemplar claramente una retina humana en un ser vivo.
>
> La construcción del oftalmoscopio tuvo un efecto decisivo en mi posición a los ojos del mundo. Desde aquel momento conté con el reconocimiento inmediato de las autoridades y de mis colegas, así como con un fuerte cuidado por satisfacer mis deseos. Fui de esta manera capaz de seguir mucho más libremente los impulsos de mis ansias de conocimiento. Debo decir, no obstante, que yo atribuyo mi éxito en gran medida al hecho de que, poseyendo algún entendimiento geométrico y equipado con un conocimiento de física, tuve la buena fortuna de ser lanzado a la medicina, donde encontré en la fisiología un territorio virgen de gran fertilidad. Además, mi conocimiento de los procesos vitales me llevó a preguntas y puntos de vista que habitualmente son extraños a los matemáticos puros y a los físicos. Hasta entonces solamente había podido comparar mi habilidad matemática con la de mis compañeros de estudios y colegas médicos; el que en general yo fuese superior a ellos en este aspecto quizá no quería decir mucho. Además, las matemáticas fueron consideradas siempre en la escuela como un tema de importancia secundaria.

El éxito le llegó, efectivamente. En 1855, aceptó una cátedra de Anatomía y Fisiología en la Universidad de Bonn, y en 1858 una de Fisiología en Heidelberg. En 1871, se reconocían públicamente las contribuciones que había realizado a la física, con una cátedra de Física en la

Universidad de Berlín. Finalmente, en 1888 fue nombrado presidente del recién creado Physikalisch-Technische Reichsanstal, el Instituto Imperial de Física Técnica, con el que ya nos encontramos en el capítulo 2.

El caso de Helmholtz y, en general, el de la relación entre fisiología, medicina, química y física a lo largo del siglo XIX, muestra que aunque nos empeñemos en introducir divisiones, existe una unidad intrínseca en la historia sin la cual difícilmente podremos comprender sus aspectos más interesantes. Así, el que durante aquella centuria se produjese un avance espectacular en los saberes médicos se debe a que fue entonces cuando las ciencias físico-químicas pusieron a su disposición los instrumentos imprescindibles. «Pusieron a su disposición» o, mejor, «fueron creando simultáneamente», al menos en ocasiones. Esta última expresión es, efectivamente, más adecuada porque resalta la interdependencia entre saberes médicos y físico-químicos; los unos estimulaban a los otros, y viceversa. Tal fue la esencia y explicación de la razón de ser y existencia de la medicina científica, una medicina que encontró en Claude Bernard a su más conspicuo paladín.

Claude Bernard y la medicina científica

En la actualidad, el nombre de Claude Bernard (1813-1878) no representa mucho, o nada en absoluto, para la mayor parte de las personas, incluso las que han recibido una educación superior.[15] Al oír su nombre, no se despiertan en ellas ninguna sensación. Pero de él se podría decir lo mismo que Albert Einstein expresó en 1928 con relación a Hendrik Lorentz, al conmemorar el centenario del nacimiento de quien había sido su amigo y maestro reverenciado:[16] «Hacia fines de siglo», manifestó entonces el creador de las teorías de la relatividad, «los físicos teóricos de todos los países consideraban a H. A. Lorentz como el más destacado de todos ellos, y con toda razón. Los físicos de nuestra época no tienen, en general, plena conciencia del papel decisivo que desempeñó H. A. Lorentz

en la estructuración de las ideas fundamentales de la física teórica. La razón de este extraño hecho es que las ideas básicas de Lorentz han llegado a ser tan familiares que resulta difícil advertir lo audaces que fueron y hasta qué punto han simplificado los fundamentos de la física.»

Claude Bernard fue uno de los fisiólogos más notables del siglo XIX. Especialmente dotado para la vivisección, se apoyó en ella en muchos de sus numerosos y variados descubrimientos, entre los que se cuentan la detección de la presencia en el proceso digestivo de una enzima del jugo gástrico, el descubrimiento del control nervioso de la secreción gástrica y su localización, o el papel de la bilis y del jugo pancreático en la digestión de las grasas.

Natural de Saint-Julien, cerca de Villefranche, Beaujolais, y de una familia de campesinos, Bernard llegó en 1834 a París, el centro neurálgico de la vida cultural y científica francesa, pero no con la intención de convertirse en científico, sino en escritor. Llevaba consigo un drama, *Arthur de Bretagne*, con el que no tuvo éxito, así que emprendió, como consecuencia, la carrera de Medicina. En 1839, decidió optar a una de las plazas de interno que se ofrecían a los estudiantes; si se era admitido, tras superar un examen, había que servir en tal puesto durante cuatro años, sin poder graduarse como médico hasta que hubiesen transcurrido éstos. Pasó el examen, aunque en un lugar que no presagiaba sus éxitos futuros: ocupó el número 26 de los 29 candidatos aceptados. El primer año sirvió en dos hospitales: en la Charité y en el Hôtel-Dieu con dos cirujanos, de cuyo nombre no es preciso acordarse. Pero el segundo año llegó su gran oportunidad: François Magendie en el Hôtel-Dieu. Magendie, que ya ha aparecido en este libro, reconoció las habilidades con las que Bernard preparaba muestras anatómicas después de las autopsias, y le tomó como *préparateur* en su cátedra del Collège de France. Con Magendie aprendería todo lo que necesitaba para proseguir en su momento su propio camino como investigador.

Pero no es éste el momento ni el lugar de detallar cuál

fue ese camino, más allá de lo que ya he señalado con relación a algunas de sus aportaciones a la fisiología, y de algunos detalles más. Detalles como el que obtuvo, tras algún fracaso, su primera cátedra en 1854 —el mismo año en que fue admitido en la Academia de Ciencias— en la Facultad de Ciencias de París, pasando a ocupar un año después la que dejó libre Magendie en el Collège de France. En esta institución el maestro que había en él floreció, al menos en lo que se refiere a algunos de los cursos que allí ofreció y que casi inmediatamente publicó. Cursos como: *Leçons de physiologie experiméntale appliquée à la médecine, faites au Collège de France*, 2 vols. (1855-1856), *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses* (1857), *Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux* (1858) o *Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme* (1859).

En 1865, a causa de un proceso gastroenterítico que le obligó a guardar reposo, tuvo que abandonar París, y se trasladó a la casa de Saint-Julien en la que había nacido. Allí compuso la obra que, a la postre, más fama le dio y que resume, como ninguna otra, la dimensión de la medicina —la medicina científica— que estoy destacando: *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (*Introducción al estudio de la medicina experimental*; 1865). Consciente de la necesidad de sistematizar los procedimientos experimentales que, con una base físico-química, se empleaban con creciente intensidad en la medicina, hasta hacía poco mediatizada por la creencia en la existencia de una fuerza vital, Bernard deseaba escribir una obra ambiciosa y extensa que abarcase los principios de la medicina experimental. De hecho, la *Introducción al estudio de la medicina experimental* no era sino algo así como el «Prefacio» de aquella obra, de unos *Principes de médecine expérimentale* que permanecieron inacabados y que serían publicados, incompletos, póstumamente en 1947.

Un «Prefacio» únicamente, pero un prefacio que se convirtió en un clásico de la ciencia, que todavía hoy puede —que debería— ser leído con provecho. De él dijo el

filósofo Henri Bergson (1859-1941): «Es para nosotros algo así como lo que fue para los siglos XVII y XVIII el *Discurso del método*», mientras que Pasteur lo calificó de «monumento en honor del método que ha constituido las ciencias físicas y químicas desde Galileo y Newton, y que Claude Bernard se esfuerza por introducir en la fisiología y en la patología. No se ha escrito nada más luminoso, más completo, más profundo sobre los verdaderos principios del difícil arte de la experimentación... La influencia que ejercerá sobre las ciencias médicas, sobre su enseñanza, su progreso, incluso sobre su lenguaje, será inmensa».17

Resumir el contenido de la *Introducción* sería una tarea demasiado extensa. Me limitaré a unos breves comentarios, referentes al método que propugnaba y no a los ejemplos concretos a los que recurría para ilustrarlo, aun a sabiendas que de esta manera se pierde mucho de la enorme riqueza de esta obra. Tenemos, en primer lugar, que la visión que Bernard propugnaba era respetuosa con la estructura tradicional de los saberes médicos, aunque él le diese nueva vida:18 «Para abrazar el problema médico por completo», escribía, «la medicina experimental debe abrazar tres partes fundamentales: la Fisiología, la Patología y la Terapéutica. El conocimiento de las causas de los fenómenos de la vida en el estado normal, la *Fisiología*, nos enseñará a sostener las condiciones normales de la vida; es decir, *a conservar la salud*. El conocimiento de las enfermedades y de las causas que las determinan, la *Patología*, nos conducirá por una parte a precaver el desarrollo de estas condiciones morbosas, y por otra a combatir los efectos por medio de los agentes medicamentosos; es decir, *a curar las enfermedades*». Durante mucho tiempo, «el período empírico de la medicina» (así lo denominaba), «que sin duda durará aún largo tiempo», fisiología, patología y terapéutica habían podido marchar por separado, pero, continuaba, «en la concepción de la medicina científica esto no puede tener lugar: su base debe ser la fisiología. No estableciéndose la ciencia sino por vía de comparación, no podía obtenerse el conocimiento del estado patológico o anormal sin el

conocimiento del estado normal, así como la acción terapéutica sobre el organismo de los agentes anormales o medicamentosos no podría comprenderse sin el estudio previo de la acción fisiológica de los agentes normales que mantienen los fenómenos de la vida».

¿Y qué entendía él por la «medicina científica» que mencionaba?:

> La medicina científica debe constituirse, como las demás ciencias, por la vía experimental; es decir, por la aplicación inmediata y rigurosa del razonamiento a los hechos que la observación y la experimentación nos suministran. El método experimental, considerado en sí mismo, no es más que un *razonamiento* por medio del que sometemos metódicamente nuestras ideas a la experiencia de los *hechos*.[19]
>
> El razonamiento siempre es el mismo, así en las ciencias que estudian los seres vivientes como en las que se ocupan de los cuerpos brutos. Pero en cada género de ciencia varían los fenómenos y presentan una complejidad y dificultades de investigación que les son propias. Ésta es la razón de por qué los principios de la experimentación... son incomparablemente más difíciles de aplicar a la medicina y a los fenómenos de los cuerpos vivientes, que a la física y a los fenómenos de los cuerpos brutos.

«El razonamiento», decía, «siempre es el mismo, así en las ciencias que estudian los seres vivientes como en las que se ocupan de los cuerpos brutos», una afirmación que desarrollaba más adelante, en el capítulo primero de la segunda parte («De la experimentación en los seres vivos»), donde declaraba:[20]

> La espontaneidad de que gozan los seres dotados de vida ha sido una de las objeciones que se han opuesto contra la ley de la experimentación en los estudios biológicos. En efecto, cada ser viviente se nos aparece como provisto de una especie de fuerza interior que preside a las manifestaciones vitales más y más independientes de las influencias cósmicas generales, a medida que se eleva el animal en la escala de la organización. En los animales superiores y en el hombre, por ejemplo, esta fuerza vital parece tener por resultado sustraer al cuerpo viviente de las influencias físico-químicas generales, y hacerle

de esta manera más difícilmente asequible a la experimentación.

Los cuerpos brutos nada semejante ofrecen, y cualquiera que sea su naturaleza, están desprovistos de espontaneidad. Estando desde luego la manifestación de sus propiedades encadenada de una manera absoluta a las condiciones físico-químicas que los rodean y les sirven de medio, resulta que el experimentador puede fácilmente alcanzarlas y modificarlas a su gusto.

Por otra parte, todos los fenómenos de un cuerpo vivo están en una armonía recíproca tal, que parece imposible separar una parte del organismo sin producir inmediatamente un desorden en todo el conjunto. En los animales superiores en particular, la sensibilidad más exquisita produce reacciones y perturbaciones todavía más considerables.

Muchos médicos y fisiólogos especulativos, así como anatómicos y naturalistas, han explotado estos diversos argumentos para levantarse contra la experimentación en los seres vivientes. Han admitido que la fuerza vital estaba en oposición con las fuerzas físico-químicas: que dominaba todos los fenómenos de la vida, los sujetaba a leyes en un todo especiales y hacía del organismo un todo organizado, al que el experimentador no podía tocar sin destruir el carácter de la vida. Han llegado hasta decir que los cuerpos brutos y los cuerpos vivientes diferían radicalmente en este punto de vista, de tal manera que la experimentación era aplicable a los unos y no lo era a los otros.

Pero, continuaba Bernard, «si fueran fundadas» estas objeciones, sería como reconocer que «o bien no hay determinismo posible en los fenómenos de la vida, lo que sería sencillamente negar la ciencia biológica, o bien admitir que la fuerza vital debía estudiarse por procedimientos particulares, y que la ciencia de la vida debía descansar sobre otros principios que la ciencia de los cuerpos inertes. Estas ideas, que corrieron libremente en otras épocas, se desvanecen, sin duda, más cada día; pero sin embargo, importa extirpar de raíz los últimos gérmenes, porque lo que queda todavía en ciertos ánimos de estas ideas llamadas vitalistas constituye un verdadero obstáculo a los progresos de la medicina experimental». Por todo esto, se proponía «establecer que la ciencia de los fenómenos de la vida no puede tener otras bases que la ciencia de los

fenómenos de los cuerpos brutos, y que no hay bajo este concepto ninguna diferencia entre los principios de las ciencias biológicas y los de las ciencias físico-químicas. En efecto... el objeto que se propone el método experimental es el mismo en todas ellas: consiste en relacionar mediante el experimento los fenómenos naturales con sus condiciones de existencia o con sus causas próximas. Siendo conocidas estas condiciones en biología, el fisiólogo podrá dirigir la manifestación de los fenómenos de la vida como el físico y el químico dirigen los fenómenos naturales cuyas leyes han descubierto». Y concluía: «Existe únicamente un determinismo absoluto en todas las ciencias, puesto que ya que cada fenómeno está encadenado de una manera necesaria a las condiciones físico-químicas, puede el científico modificarlas para controlar el fenómeno. No hay objeción alguna respecto a los cuerpos brutos. Quiero probar que esto ocurre también en los cuerpos vivos y que para ellos existe igualmente determinismo».

LABORATORIOS *VERSUS* HOSPITALES

Todas estas ideas sobre la relación que la medicina debía mantener con las demás ciencias están bien, muy bien. Suenan familiares a nuestros oídos, educados desde hace mucho en semejantes razonamientos. Lo contrario sería lo extraño, lo que nos sorprendería. Pero no debemos contentarnos con las ideas —y logros— de científicos concretos, es necesario interesarse por la dimensión institucional de esas ideas, por cómo se llevaron a la práctica. ¿Bastaba con las instalaciones propias de los hospitales, o se necesitaban laboratorios específicos (aparte, por supuesto, de medidas organizativas)? Para introducir esta cuestión, es conveniente retornar a lo que Bernard decía en su *Introducción al estudio de la medicina experimental*, donde escribía:[21]

> Toda ciencia experimental exige un laboratorio; allí se retira el sabio para procurar comprender, por medio del análisis

experimental, los fenómenos que ha observado en la naturaleza.

El objeto del estudio del médico es necesariamente el enfermo, y su primer campo de acción, por consiguiente, el hospital. Mas si la observación clínica puede enseñarle a conocer la forma y el curso de las enfermedades, es insuficiente para hacerle comprender la naturaleza; necesita para esto penetrar en el interior del organismo e investigar cuáles son las partes internas lesionadas en sus funciones; por eso asocia bien pronto a la observación clínica de las enfermedades su estudio necroscópico y las disecciones cadavéricas. Mas en la actualidad no bastan ya estos diversos medios; es necesario llevar más adelante la investigación y analizar los fenómenos elementales de los cuerpos organizados, comparando el estado normal con el patológico. Hemos demostrado en otro sitio la insuficiencia de la anatomía para dar cuenta solamente de los fenómenos de la vida, y hemos visto que es necesario asociarla al estudio de todas las condiciones físico-químicas que entran como elementos necesarios de las manifestaciones vitales, normales o patológicas. Esta simple indicación hace ya presentir que el laboratorio del fisiólogo médico debe ser el más complicado de todos los laboratorios, porque tiene que investigar los fenómenos de la vida, que son los más complejos de todos los fenómenos naturales.

Tras este preludio explicaba con claridad su visión del laboratorio de fisiología:[22]

El laboratorio fisiológico debe ser actualmente el objeto culminante de los estudios del médico científico; importa explicarnos más para evitar malas interpretaciones. El hospital, o más bien la sala de enfermos, no es el laboratorio del médico, como generalmente se cree; es sólo, como hemos dicho, su campo de observación; allí debe formarse lo que se llama la clínica; es decir, el estudio lo más completo posible de la enfermedad a la cabecera del paciente...

La medicina experimental no excluye la clínica de observación; viene ésta, por el contrario, en pos de aquélla, mas no constituye una ciencia más elevada, y necesariamente más vasta y general. Se concibe que un médico observador o empírico, que jamás sale de su hospital, considere que allí se encierra la medicina toda como una ciencia distinta de la fisiología, cuya necesidad no siente; mas para el sabio no hay ni medicina ni fisiología distintas; sólo hay una ciencia de la vida,

> sólo fenómenos de ésta, que trata de explicar así en el estado patológico como en el fisiológico. Infundiendo esta idea fundamental y este concepto general de la medicina en el ánimo de los jóvenes desde el principio de sus estudios médicos, se les hará ver que las ciencias físico-químicas que han debido aprender son instrumentos que les ayudarán a analizar los fenómenos de la vida en el estado normal y patológico. Cuando frecuenten el hospital, los anfiteatros y los laboratorios, abrazarán fácilmente el lazo general que une todas las ciencias médicas en lugar de comprenderlas como fragmentos desprendidos de una ciencia sin relación entre sí.

Y concluía con estas memorables frases: «En una palabra, consideramos al hospital tan sólo como el vestíbulo de la medicina científica; es el primer campo de observación en que debe entrar el médico; el verdadero santuario de la ciencia médica es el laboratorio: aquí es sólo donde busca la explicación de los fenómenos de la vida, así en su estado normal como en el patológico, por medio del análisis experimental».

Bernard pedía, como vemos, bien dotados laboratorios dedicados específicamente a la fisiología, y, hemos de suponer en el defensor de una «medicina científica», también en cualquier otra especialidad médica (aunque el de fisiología era prioritario, por ser el pivote que unía medicina y ciencia). ¿Y se cumplieron rápidamente sus demandas? La respuesta es que el establecimiento de esos laboratorios fisiológicos no fue demasiado rápido, aunque para cuando se publicó la *Introducción* ya se había iniciado el camino en tal dirección.

«En fisiología el ideal de una investigación llevada a cabo en un laboratorio experimental se anunció ampliamente pero sólo se realizó con lentitud», señalaron en tal sentido William Coleman y Frederic Holmes en la introducción de un volumen dedicado precisamente a estudiar la situación de la fisiología experimental en la medicina decimonónica.[23] «La investigación en fisiología experimental era antigua y activa en los siglos XVII y XVIII. Pero fue únicamente en el siglo XIX cuando adquirió verdadera importancia, convirtiéndose en el emblema de la

modernidad y en la aspiración de los científicos y administradores en Alemania y a través de Europa... Investigadores relativamente autónomos, ejemplificados en figuras como François Magendie y Claude Bernard en Francia, John Hunter y Charles Bell en Gran Bretaña, y Johannes Müller y Jan Evangelista Purkinje en Prusia fueron reemplazados gradualmente en Alemania, sobre todo después de 1850, por institutos de investigación en los que grupos de investigadores trabajaban juntos, a veces en un problema común o conjunto de problemas y otras veces en una diversidad de temas. El fenómeno del instituto se enraizó primero en las universidades de Alemania, pero apareció también en aquellas universidades que se establecieron siguiendo el ejemplo germano. A finales del siglo, el instituto se había convertido en el componente esencial de las universidades escandinavas, rusas, del este de Europa, suizas y holandesas. Más tarde, la idea del instituto cruzó el océano estimulando cambios importantes en la investigación e instrucción en las universidades de Estados Unidos.»

Al igual que en el caso de la química (del que me ocupé en el capítulo 2), Alemania lideró el movimiento por institucionalizar la fisiología durante el siglo XIX. No fue, sin embargo, fácil ni directo. Aunque se daban clases de fisiología durante la primera década del siglo XIX en las universidades alemanas, el trabajo en esta disciplina era esporádico.[24] En 1828, la fisiología, entendida como una disciplina experimental, estaba representada únicamente en seis universidades germanas a través de siete profesores (no catedráticos), y los laboratorios de fisiología se encontraban en institutos de anatomía. De hecho, la fisiología formaba parte de la anatomía. El primer instituto dedicado específicamente a la fisiología fue el que se estableció en 1839 en Breslau para Jan Purkinje (1787-1869), el científico checo recordado por sus contribuciones al estudio celular (en 1837, por ejemplo, caracterizó un tipo de células —las células de Purkinje— en el córtex cerebral), pero aun así ni él ni sus estudiantes se esforzaron por

convertir la fisiología en una disciplina independiente; lo que les preocupaba sobre todo era establecer su hegemonía con relación a la anatomía. Por entonces la investigación fisiológica era llevada a cabo mayoritariamente por anatomistas, no estando todavía la fisiología como disciplina completamente establecida en base experimental, científica. Johannes Müller, como vimos uno de los fundadores de la moderna fisiología alemana, enseñaba en Bonn oftalmología, cirugía y anatomía, al igual que fisiología, y cuando se trasladó a Berlín mantuvo en su cátedra la unión de la fisiología con la anatomía hasta 1858, el año de su fallecimiento. Fue entonces cuando ésta se dividió en dos cátedras, una para Anatomía y otra para Fisiología.

Debido al prestigio que fue adquiriendo la fisiología, se fue extendiendo la idea de que la competencia en fisiología constituía un requisito necesario para ocupar una cátedra en Anatomía. Sin embargo, esto no era siempre posible al existir anatomistas de la «vieja escuela» con pocos conocimientos de fisiología, y lo que sucedió en algunos casos es que se desdobló la cátedra de Anatomía en dos: una para anatomía y otra para fisiología. En 1858, señaló Bruno Kisch, «Carl Gegenbaur, en aquel momento profesor extraordinario de zoología en Jena, fue considerado como sucesor del difunto Huschke para anatomía y fisiología. Sin embargo, Gegenbaur no tenía ni experiencia ni interés en la fisiología moderna y por tanto no podía encargarse de la enseñanza en este campo. Por consiguiente, la Facultad decidió finalmente designar a Albert von Bezold como fisiólogo y a Gegenbaur como anatomista».[25] Este fenómeno, que se produjo especialmente en las décadas de 1840 y 1850, favoreció claramente a la fisiología al aconsejar a los jóvenes que deseaban establecerse académicamente en el campo de la anatomía a adquirir conocimientos fisiológicos para mejorar sus posibilidades de obtener una cátedra para la que se les exigiría, o incluso a dedicarse sobre todo a la fisiología, una disciplina no sólo más moderna y científica sino para la que parecía que se

abrían posibilidades de nuevas cátedras universitarias. Siguiendo este tortuoso camino, a finales de la década de 1850 y durante la de 1860 se produjo finalmente la separación entre anatomía y fisiología (cuando en 1858, como mencioné, se dividió la cátedra de Müller en dos, una para anatomía y otra para fisiología, no fue una innovación pionera, sino la rectificación de un anacronismo), aunque como siempre sucede hubiese flagrantes casos de retraso, como el de Giessen, donde tal separación no se produjo hasta 1891. Se puede comprender fácilmente los sentimientos de Carl Ludwig cuando escribía a Emil du Bois-Reymond el 7 de noviembre de 1858:26 «La fisiología física fundada por nosotros está ahora saliendo visiblemente victoriosa a pesar de la resistencia planteada por nuestros adversarios. Vosotros dos [Du-Bois Reymond y Brücke] en Viena, Helmholtz en Heidelberg, yo en Berlín y presumiblemente Pflüger y Heidenhain en Bonn y Breslau».27

En el período que va de 1855 a 1874, el más intenso en la institucionalización de la fisiología, 26 científicos fueron designados para ocupar cátedras de Anatomía en universidades alemanas, incluyendo también algunas germanohablantes, mientras que en el de 1875 a 1895 únicamente fueron nueve. He aquí algunos de los nombres de estos nuevos catedráticos y los años que ocuparon sus cátedras:

Emil du Bois-Reymond (1818-1896). Berlín (1858-1896).
Ernst von Brücke (1819-1892). Viena (1849-1890).
Carl Ludwig (1816-1895). Leipzig (1865-1895).
Karl Vierordt (1818-1884). Tubinga (1855-1884).
Georg Meissner (1829-1905). Gotinga (1860-1905).
Rudolf Heidenhain (1834-1897). Breslau (1859-1897).
Eduard Pflüger (1829-1910). Bonn (1859-1910).
Carl Voit (1831-1909). Múnich (1863-1908).

He estado refiriéndome a la fisiología alemana,

mencionando que fue la que más hizo inicialmente por avanzar e institucionalizar la ciencia fisiológica. Como apoyo de tales afirmaciones, a continuación y para cerrar esta sección, incluyo una tabla que da una medida de la productividad científica en fisiología en una serie de países, y su evolución a lo largo del tiempo.[28]

NÚMERO DE CONTRIBUCIONES ORIGINALES A LA FISIOLOGÍA EN VARIOS PAÍSES

	Alemania	*Francia*	*Inglaterra*	*Estados Unidos*	*Otros*
1800-04	4	2	6	–	2
1805-09	1	3	2	–	2
1810-14	3	7	2	–	–
1815-19	9	8	4	–	1
1820-24	9	10	2	1	3
1825-29	20	7	4	–	–
1830-34	21	6	5	–	5
1835-38	25	10	4	–	3
1840-44	38	16	7	–	1
1845-49	53	6	6	–	3
1850-54	52	11	5	–	3
1855-59	74	26	3	–	3
1860-64	82	15	–	–	10
1865-69	89	1	2	7	1
1870-74	76	9	2	1	5
1875-79	79	5	9	1	8
1880-84	49	5	10	1	15
1885-89	39	5	13	–	13
1890-94	65	7	15	3	16
1895-99	54	5	18	6	15
1900-04	78	2	14	11	18
1905-09	59	5	28	5	11
1910-14	66	6	24	9	9
1915-19	20	1	9	14	4
1920-24	47	2	13	24	8

RUDOLF VIRCHOW: «LA MEDICINA ES UNA CIENCIA SOCIAL, Y LA POLÍTICA NADA MÁS QUE MEDICINA EN GRAN ESCALA»

En este punto es adecuado ocuparse de Rudolf Virchow (1821-1902), otro de los discípulos de Johannes Müller, junto con Helmholtz probablemente el más destacado. Virchow hizo de la fisiología patológica su principal hogar científico, pero cometeríamos un grave error si le

recordásemos sólo por sus investigaciones en este campo, olvidando, por ejemplo, sus ideas y actividades en el ámbito de la política médica (salud pública y epidemiología, fundamentalmente). No trataré de todos sus trabajos aquí, aunque sí mencionaré que entre sus descubrimientos se encuentran los de la leucemia y la mielina, y que realizó estudios experimentales fundamentales sobre la trombosis, flebitis o triquinosis. En su tiempo fue considerado algo así como un «Papa» de la medicina.[29]

Como patólogo, para averiguar dónde residían los problemas, los males, en los tejidos de los órganos de los enfermos, Virchow basó sus trabajos en un viejo instrumento, el microscopio, que en el siglo XIX abrió nuevas puertas a la observación, gracias a los avances técnicos que experimentó (la introducción, por ejemplo, de los microscopios de lentes acromáticas).

Los pioneros en la exploración de esos nuevos mundo microscópicos fueron sobre todo discípulos de Müller. El primero que hay que mencionar en este sentido es Theodor Schwann (1809-1885), que en una monografía significativamente titulada *Mikroskopische untersuchungen über die übereinstimmung in der struktur und dem wachsthum der thiere und pflanzen* (*Investigaciones microscópicas sobre la coincidencia de los animales y las plantas en la estructura y el crecimiento*), de 1839, y apoyándose en trabajos anteriores de botánicos, zoólogos y médicos, sostenía que la célula es la unidad elemental de la estructura y de la formación de todos los seres vivos. Sin embargo, las ideas de Schwann sobre la célula adolecían de graves limitaciones (comparaba, por ejemplo, la formación de las células —la citogénesis— con una especie de cristalización en torno al núcleo), que Virchow corrigió.[30]

En realidad, Virchow fue mucho más lejos que Schwann, constituyéndose en el auténtico «padre» de la teoría celular. El lugar en el que presentó de manera completa sus ideas y resultados es uno de los grandes libros del siglo XIX: *Die Cellularpathologie in ihrer begründung auf physiologische und pathologische gewebelehre* (*La patología*

celular basada en la histología fisiológica y patológica) de 1858, un clásico de la literatura médica y, en general, científica. Nadie antes que Virchow había defendido con tanta fuerza, y apoyándose en todo tipo de hechos, el papel central de la unidad celular en la vida. «Al igual que un árbol constituye una masa dispuesta de una manera definida», escribió allí, «en la que, en todas sus distintas partes, en las hojas al igual que en las raíces, en el tronco al igual que en los brotes, se descubre que las células son los elementos últimos, así ocurre con todas las formas de vida animal. *Todo animal se presenta como una suma de unidades vitales*, cada una de ellas manifestando todas las características de la vida. Las características y unidad de la vida no se pueden limitar a ningún lugar particular de un organismo altamente organizado (por ejemplo, el cerebro del hombre), sino que se encuentran solamente en la definida, constantemente recurrente, estructura que todo elemento individual manifiesta.»[31] Las células podían aparecer en muy diversas formas, según los tejidos en los que se encontrasen, pero ello no alteraba, sino, todo lo contrario, reforzaba el papel central que desempeñaban:[32] «Para nosotros», leemos también en la *Patología celular*, «es esencial saber que en los más variados tejidos estos constituyentes, que, de alguna manera, representan la célula en su forma abstracta, el núcleo y la membrana, se repiten con gran constancia, y que mediante su combinación se obtiene un elemento simple, que, a través de una serie completa de vegetales vivos y formas animales, por muy diferentes que éstos sean externamente, por mucho que cambie su composición interna, se nos presenta con una estructura de forma peculiar, como una base definida para todos los fenómenos de la vida». Por último, hay que señalar que, como patólogo que era, Virchow no podía dejar de destacar el valor que la célula tenía para el análisis de enfermedades:[33] «Considero necesario relacionar hechos patológicos con su origen en elementos histológicos conocidos».

Además de un gran científico, Virchow fue también un

hombre profundamente preocupado —un activista, de hecho— por la situación de la salud pública, en general, y de los hospitales y médicos, en particular. Especialmente importantes en este sentido son una serie de artículos sobre las reformas médicas en la salud pública que publicó en 1848 en una revista semanal que él mismo fundó junto al psiquiatra Rudolf Leubuscher, *Die Medizinische Reform*, que se convirtió en el portavoz de un movimiento nacional de reforma médica que intentaba que se produjese un progreso administrativo que se correspondiese con, y pudiese explotar, los avances científicos. Allí, en el número 5 de esta publicación (4 de agosto), manifestaba:[34] «No basta con que el gobierno salvaguarde los meros medios de existencia de sus ciudadanos; esto es, que ayude a todos aquellos cuya capacidad de trabajo no es suficiente para ganarse la vida.[35] El Estado debe hacer más. Debe ayudar a todos a que vivan una vida sana. Esto se deriva directamente de la concepción del Estado como la unidad moral de todos los individuos que lo componen, y de la obligación de la solidaridad universal».

En el número 9 (1 de septiembre) defendió ideas que le honran y que muestran lo poco humanitaria que era la época en que lo escribió:[36] «En lo que se refiere a la frase "para cada uno según sus necesidades", en ningún lugar se aplica con mayor claridad y rotundidad que en la atención que se brinda en la salud pública, de la que constituye uno de sus principios básicos. La admisión en un hospital debe... estar abierta a todo paciente que lo necesite, independiente de si es judío o ateo. Si alguien solicita la admisión, el único criterio debe ser si está enfermo, y qué circunstancias justifican su admisión en un hospital. Hasta ahora, sin embargo, era lo contrario; la primera pregunta era si la persona podía pagar, o si alguna otra persona era responsable de pagar por él».

La frase «para cada uno según sus necesidades», es, como se sabe, de Karl Marx, que la utilizó en su *Crítica del Programa de Gotha* (expuesta en una carta a W. Bracke, del 5 de mayo de 1875).[37] No es que Virchow fuese marxista,

sino, simplemente, que la política formaba parte de sus intereses y preocupaciones. De hecho, para él política y ciencia estaban unidas íntimamente, reforzándose mutuamente sus opiniones políticas y biológicas. Sostenía que la política debía imitar las lecciones que se extraían de la patología celular, ciencia que demostraba que el cuerpo era un estado libre de individuos iguales, una federación de células, un estado celular democrático, una sociedad formada por iguales, mientras que una sociedad no democrática, oligárquica, de tejidos, conducía a un estado patológico, de todo lo cual extraía la conclusión de que las sociedades humanas debían imitar a las celulares adoptando patrones democráticos. Continuamente establecía paralelismos entre los fenómenos políticos y biológicos. Visto retrospectivamente, lo menos que se puede decir de él es que era ingenuo, pero si lo consideramos desde el punto de vista sincrónico de la situación e ideas de su tiempo, la imagen que se obtiene de él es la de un científico comprometido con su época, una época plena de injusticias, algunas de las cuales —especialmente en el ámbito de la salud pública— podían ya ser resueltas gracias al progreso científico. No fue el único médico de su tiempo en interesarse seriamente por la política, aunque seguramente sí uno de los pocos que no abandonó durante toda su vida estos intereses. Fue, en este sentido, coherente con lo que entendía que era la medicina: «Si la medicina pretende cumplir su gran fin», escribió en cierta ocasión, «entonces debe entrar en la política y en la vida social».[38]

Recordaré finalmente otro de estos artículos del *Medizinische Reform* (número 18, 3 de noviembre de 1848), esta vez sobre «los médicos de la caridad». En él, Virchow entraba aún más de lleno en el terreno de la política, incluyendo una frase memorable que utilicé en el encabezamiento de la presente sección:[39]

> El cuidado de la salud para los indigentes o, en otras palabras, el tratamiento médico de los pacientes pobres, tal y como se ha practicado hasta ahora, implica dos grandes errores: uno contra los pacientes, y el otro contra el médico.

El indigente estaba obligado a aceptar el tratamiento por parte de ciertos médicos que se le asignaban desde arriba, y no tenía otra opción que bien permanecer sin recibir tratamiento o consultar con el médico aprobado por las autoridades. El médico, debido a una ilimitada competición, estaba obligado a aceptar una posición que le impedía recibir un pago conmensurado con sus esfuerzos.

Y a pesar de todo, los pacientes que tenían a su disposición tales médicos asignados, y los médicos que habían sido capaces de obtener tal poco grata posición, tenían que estar agradecidos, ya que existían amplias zonas de territorio en las que los pacientes buscaban en vano un médico, y numerosos médicos agotados por años de vana lucha contra el nepotismo de todo tipo en su fútil busca de incluso un puesto tan mendicante.

Estas condiciones conducían inevitablemente al resentimiento tanto de los pobres como de los médicos; ambos se fueron convenciendo gradualmente de que eran víctimas de falsos principios sociales. De esta manera, la sociedad creó sus propios enemigos. El proletariado se hizo día a día más inquieto; ideas equivocadas del bienestar público y de la dignidad humana comenzaron a afincarse en ellos y fueron explotados para favorecer una agitación en una escala cada vez mayor, una agitación que amenaza la civilización europea. Pero ¿quién se sorprenderá de que la democracia y el socialismo no encuentren en ninguna parte más seguidores que entre los médicos, o que, en la extrema izquierda, sean los médicos los que con frecuencia encabecen el movimiento? La medicina es una ciencia social, y la política nada más que medicina en gran escala.

LOUIS PASTEUR: DE LA QUÍMICA Y LA FÍSICA A LA MEDICINA

Louis Pasteur (1822-1895) es uno de los grandes nombres de la historia no ya de la ciencia únicamente, sino de la humanidad. Merece, por tanto, la pena recordar algunos detalles de su biografía.

Natural de Dôle, en el denominado Franco Condado, e hijo de un curtidor, tras estudiar en el Collège Royal de Besançon, donde obtuvo el grado de bachiller en letras (1840) y en ciencias (1842), Pasteur fue admitido (en 1843)

en la sección científica de la École Normale Supérieure, en la que completó sus estudios en 1845. Dos años más tarde logró el grado de doctor por la Universidad de París, con una tesis dividida en dos partes, una de química y otra de física, la primera titulada *Recherches sur la capacité de saturation de l'acide arsénieux. Étude des arsénites de potasse, de soude et d'ammoniaque* (*Investigaciones sobre la capacidad de saturación del ácido de arsénico. Estudio de los arsenuros de potasio, la soda y el amoníaco*), y la segunda, *1. Étude des phénomènes relatifs à la polarisation rotatoire des liquides. 2. Application de la polarisation rotatoire des liquides à la solution de diverses questions de chimie* (*1. Estudio de fenómenos relativos a la polarización rotatoria de los líquidos. 2. Aplicación de la polarización rotatoria a la solución de diversas cuestiones de química*). Lejos de ser un trabajo correcto pero más o menos intrascendente, los contenidos de su tesis, sobre todo los de la segunda parte, pertenecientes al campo de la cristalografía y la simetría molecular, resultaron tan importantes que dieron origen a una nueva rama de la ciencia: la estereoquímica, que estudia las formas tridimensionales alternativas de las moléculas. Con anterioridad a la tesis de Pasteur, se sabía de la existencia de dos formas de ácido tartárico, una que hacía girar el plano de la luz polarizada hacia la derecha, y otra que no lo hacía girar en absoluto. Él fue capaz de aislar un ácido tartárico desconocido entonces, que hacía girar la luz polarizada hacia la izquierda y no hacia la derecha, y demostrar que el ácido tartárico que no hacía girar el plano de polarización de la luz estaba compuesto de dos cristales diferentes, uno el que producía giros hacia la derecha, y otro hacia la izquierda; al coexistir cristales que giraban en sentidos opuestos, el resultado era que se neutralizaban entre sí.

Comenzó así un período de su vida (1847-1857) dominado por este tipo de investigaciones, un período en el que se fue estableciendo profesionalmente. En septiembre de 1848 fue designado profesor de Física en el Liceo de Dijon, pero permaneció poco tiempo en aquel puesto, ya

que en diciembre del mismo año fue nombrado profesor suplente de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Estrasburgo, donde pasó a catedrático titular en 1852. En 1854 se trasladó a la Universidad de Lille, la ciudad de mayor actividad industrial del norte de Francia, como decano y profesor de Química de la nueva Facultad de Ciencias. En 1856, la Royal Society londinense le otorgó la prestigiosa medalla Rumford por sus estudios de cristalografía, un reconocimiento que seguramente le ayudó a acceder, el año siguiente, en París, al cargo de administrador y director de la rama de ciencias de su antigua *alma mater*, la École Normale Supérieure.

Con la instalación en la capital, el centro neurálgico de la vida francesa —incluida la científica—, los intereses profesionales de Pasteur pasaron al dominio de la fermentación y generación espontánea, al que estuvo dedicado plenamente hasta 1865. Después vendrían otras etapas de su vida científica, protagonizadas por investigaciones en: enfermedades del gusano de seda (1865-1870), estudios sobre la cerveza (1871-1876) y enfermedades infecciosas (1876-1895). En 1862 fue elegido miembro de la elitista Academia de Ciencias (sección de mineralogía) y en 1867 tomó posesión de la cátedra de Química orgánica de la Sorbona.

No es posible detenerse ni siquiera en esbozar las motivaciones y resultados del conjunto de la obra pasteuriana, pero de entrada dos hechos saltan a la vista: (a) fue un químico y físico que terminó ocupándose de problemas médicos, y (b) no eludió las investigaciones «aplicadas». En realidad, ambos aspectos de su carrera están íntimamente relacionados, en una mezcla casi indisoluble en la que se halla una parte importante de la explicación de sus éxitos (no podemos olvidar —nunca se puede olvidar— su propia singularidad, la de su carácter). Por un lado, estaban sus conocimientos químicos y físicos, que hacían de él un magnífico candidato a practicante de la medicina científica bernardiana; por otro, no era ajeno al mundo que le rodeaba, al mundo, por ejemplo, de la industria de la

seda o de la cerveza, el mundo agrícola o el de las enfermedades (si como muestra sirve un botón, he aquí el título de uno de sus trabajos, y no menor: *Études sur le vin: ses maladies, causes qui les provoquent, procédés nouveaux pour le conserver et pour le vieillir* [*Estudios sobre el vino: sus enfermedades, causas que las provocan, procedimientos nuevos para conservarlo y para envejecerlo*]; 1866). Ambos rasgos le fueron llevando, en una secuencia que a veces uno está tentado a considerar inevitable, de un tema de investigación a otro.

Así, sus estudios sobre disimetría molecular le condujeron a ocuparse del alcohol amílico, activo también ópticamente. Ahora bien, resulta que el alcohol amílico desempeña un papel importante en la fermentación láctica. Se abría de esta manera la puerta a las investigaciones de Pasteur sobre fermentación, un hecho este que él mismo reconoció y explicó en la sección inicial de su primer artículo en este campo, «Memoria sobre la fermentación llamada láctica» (1858), que habitualmente se considera que marca el inicio de la bacteriología como ciencia:[40] «Creo que es mi deber indicar con algunas palabras cómo me he visto conducido a ocuparme en investigaciones sobre las fermentaciones. Habiendo aplicado hasta el presente todos mis esfuerzos a tratar de descubrir los vínculos que existen entre las propiedades químicas, ópticas y cristalográficas de ciertos cuerpos con el fin de aclarar su constitución molecular, quizá pueda asombrar verme abordar un tema de química fisiológica, muy alejado en apariencia de mis primeros trabajos. Sin embargo, están relacionados de forma muy directa».

Ahora bien, de la fermentación a ocuparse de cuestiones como las causas de las alteraciones en los vinos no había sino un paso, como el propio Pasteur reconoció en una carta que escribió el 25 de agosto de 1864 al alcalde de Arbois —la villa en la que pasó los años de 1830 a 1839 y en la que poseyó una casa que nunca abandonó—, en la que además se pueden observar algunos de los aspectos de la relación entre poder y ciencia, al igual que entre «ciencia» y

«tecnología»:41

> Sr. alcalde:
>
> Tengo el honor de acusar recibo de la notificación de una deliberación del Consejo Municipal de la Villa de Arbois con fecha del 31 de julio último, en función de la cual, en relación con mis estudios sobre los vinos, se pondrá a mi disposición en Arbois un local para instalar un laboratorio cuyos gastos serán cubiertos por la villa.
>
> Esta iniciativa completamente espontánea del Consejo Municipal de una villa que me es tan querida por tantos motivos, honra mucho, señor alcalde, a mis modestos trabajos, y los considerandos que la acompañan me emocionan.
>
> Mis investigaciones sobre las fermentaciones me han conducido de manera natural a examinar las causas de las alteraciones de los vinos. Comencé este estudio con la idea de que los resultados a los que llegase acaso conducirían a encontrar medios para prevenir esas enfermedades tan perjudiciales al comercio de los vinos franceses. El Emperador, que vela con tanta solicitud de todo lo que puede acrecentar la prosperidad del país se ha dignado, como lo recuerda la deliberación del Consejo, a animarme en esta dirección.
>
> Al aceptar la oferta del Consejo Municipal, creo comprometerme yo mismo a realizar algún descubrimiento útil a mis compatriotas, y éste es el tipo de servicio y propósito al que un hombre de ciencia puede aspirar desde hace mucho tiempo sin lograrlo jamás.

En sus investigaciones sobre la fermentación, Pasteur demostró que ésta era resultado de la acción de organismos vivos microscópicos; que no se producía cuando se excluían o aniquilaban (sometiéndolos, por ejemplo, a la acción del calor, la forma más primitiva de un proceso que, tras ser perfeccionado, recibió en honor suyo el nombre de *pasteurización*). Al llegar a semejantes conclusiones, Pasteur se había adentrado, lo quisiese o no, en una cuestión tan básica como de larga historia: la de si era posible la generación espontánea; esto es, si seres vivos pueden surgir de sustancias inanimadas.

En muchas civilizaciones antiguas se creyó que la vida aparecía de manera espontánea a partir de materia inanimada. Observaciones diarias parecían confirmar tal

idea: se veía aparecer gusanos de la descomposición de materiales orgánicos, y moscas de trozos de carne expuestos al Sol. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XVII, Francesco Redi (1626-1698) observó que en un frasco abierto el pescado putrefacto generaba, al cabo de un tiempo, moscas, mientras que no ocurría lo mismo con un jarro idéntico pero cerrado. De este experimento —que detalló en *Esperienze intorno alla generazione degli' insetti* (1668)— extrajo la consecuencia de que las moscas no surgían del pescado, sino de huevos. Sin embargo, su meticulosidad científica no fue lo suficientemente poderosa como para impedir el paso a especulaciones religiosas que utilizaron sus descubrimientos para señalar que aunque era cierto que la vida no surgía espontáneamente sino sólo de vida preexistente, la cadena de progenitores biológicos que esta idea requería debía tener un punto de partida: en el comienzo Dios había creado todos los animales y plantas que existen.

En las décadas que siguieron al descubrimiento de Redi, la invención y utilización del microscopio sirvió para observar microorganismos de todo tipo; estas observaciones revivieron entre muchos la creencia en la generación espontánea de la vida, mientras que otros como van Leeuwenhoek, y más tarde Schwann, pensaban de forma diferente. En el curso de sus investigaciones sobre la fermentación, Pasteur puso punto final de manera definitiva a esta cuestión. El lugar en el que con más rotundidad y claridad expresó sus puntos de vista es en un artículo publicado en 1861-1862: «Memoria sobre los corpúsculos organizados que existen en la atmósfera. Examen de la doctrina de las generaciones espontáneas», en el que presentó los resultados a que había llegado con experimentos no demasiado diferentes de los de Redi.[42] En primer lugar, demostró que hay microorganismos que viven en el aire que nos rodea y que pueden contaminar incluso el cultivo más estéril. A continuación mostró que si un caldo de cultivo estéril era introducido en un recipiente sellado al vacío, en el que no podía penetrar el aire, no

surgía en él ningún microorganismo. «No, no hay ninguna circunstancia hoy conocida», manifestaba orgullosamente en una conferencia que pronunció en la Sorbona en 1864 («La generación espontánea»), «en la que se pueda afirmar que seres microscópicos han venido al mundo sin gérmenes, sin padres semejantes a ellos. Los que lo pretenden han sido juguetes de ilusiones, de experiencias mal hechas, plagadas de errores que no han sabido percibir o que no han sabido evitar.»[43]

Establecido este punto, y sabiendo además, de sus estudios sobre la fermentación, de la importancia de los gérmenes en procesos microscópicos, era razonable pensar en aplicar el nuevo planteamiento al origen de enfermedades. Semejante convicción fue la que llevó finalmente a Pasteur a la investigación médica, como él mismo reconoció en una conferencia que leyó ante la Academia de Medicina de París en 1878 (y en cuya preparación le ayudaron dos de sus colaboradores, Jules-François Joubert y Charles Chamberland), «La teoría de los gérmenes y sus aplicaciones a la medicina y la cirugía»:[44]

> Todas las ciencias ganan si se prestan un apoyo mutuo. Cuando después de mis primeras comunicaciones sobre las fermentaciones en 1857-1858 puede admitirse que los fermentos propiamente dichos son seres vivos, que en la superficie de todos los objetos, en la atmósfera y las aguas abundan gérmenes de organismos microscópicos, que la hipótesis de una generación espontánea es una quimera, que el vino, la cerveza, el vinagre, la sangre, la orina y todos los líquidos del organismo no sufren ninguna de sus alteraciones comunes en contacto con el aire puro, la medicina y la cirugía han dirigido sus ojos a estas novedades tan evidentes. Un médico francés, el doctor Davaine, hizo la primera aplicación con éxito de estos principios a la medicina en 1863.[45]
>
> Nuestras investigaciones durante el último año han avanzado mucho menos en la etiología de la enfermedad pútrida o septicemia que en la del carbunco. Creíamos que la septicemia dependía de la presencia y multiplicación de un organismo microscópico, pero no ha podido demostrarse rigurosamente esta importante conclusión. Para afirmar de modo experimental que un organismo microscópico es en realidad el agente de la

enfermedad y el contagio, no veo otro medio, en el estado actual de la ciencia, que el de someter al *microbio* (nueva y feliz expresión propuesta por Sedillot) al método de los cultivos fuera del organismo.[46]

Cuando pronunció estas palabras ya había iniciado, efectivamente, sus estudios sobre el ántrax o carbunco en 1877, cuya causa asoció también con un microorganismo, la «bacteridia». En realidad, con anterioridad a estos trabajos, Casimir Davaine y Robert Koch habían establecido la causa microorgánica de esta enfermedad, pero subsistían algunas dudas. Pasteur las solventó, confirmando la hipótesis de la transmisión de la enfermedad a los animales a través de los alimentos contaminados.

Las investigaciones de Pasteur sobre el carbunco mostraron su gran valor socioeconómico al explicar los motivos de la existencia de terrenos en los que los animales contraían la enfermedad. Veamos cómo se explicaba este punto en el artículo en el que presentó, junto a Charles Chamberland y Émile Roux, sus resultados definitivos:[47]

> Estos hechos resolvían de modo convincente la cuestión de la causa del carbunco. Había una condición, sin embargo: que fuera posible descubrir en la superficie del suelo de la provincia [Eure-et-Loir] la presencia de gérmenes de la bacteridia, sobre todo en aquellos puntos, muy numerosos siempre cada año, en donde los animales carbuncosos extendían gérmenes, fuera antes de morir o después, allí donde son enterrados. Con la colaboración de Chamberland y Roux me apliqué este año a resolver dicha cuestión.
>
> Los experimentos se dividieron en dos series distintas. En la primera buscamos si cuando se añadía tierra a la sangre carbuncosa, la bacteridia se conservaba en ella en forma de gérmenes y se multiplicaba, sobre todo cuando se regaba con agua de levadura, orina o aguas residuales. La bacteridia, bajo estas influencias, se ha multiplicado en la tierra en vez de desaparecer y se ha transformado en corto tiempo en corpúsculos-gérmenes, los cuales pueden encontrarse fácilmente tras varios meses de permanencia y después de sufrir períodos alternativos de humedad y sequía...
>
> La segunda serie de experimentos fue asimismo decisiva. Enterramos en un jardín de la granja de Maunoury, en Saint-Germain, cerca de Chartres, una oveja de un rebaño muerta

> espontáneamente de carbunco la víspera a las cuatro y después de realizarle la autopsia en el mismo lugar del enterramiento. Diez meses después (mayo de 1879), se recogió tierra de la superficie del lugar donde habíamos enterrado el animal, así como tierra de las capas profundas. Aplicamos a estas tierras el método utilizado en nuestros primeros ensayos... Con él nos fue fácil comprobar la presencia de corpúsculos-gérmenes de la bacteridia mediante inoculación de la afección carbuncosa a conejos de Indias. Sin ninguna dificultad produjimos también la septicemia con la tierra de las capas más profundas...
>
> De esta segunda serie de experimentos resulta... que si la provincia de Eure-et-Loire contiene gran cantidad de gérmenes de bacteridias, significa que el carbunco se ha establecido en ella desde hace tiempo y que la enfermedad se perpetúa mediante los animales muertos y enfermos que siembran por todas partes gérmenes contagiosos que duran mucho tiempo. La situación sería desoladora en una provincia con semejantes características si no fuera porque sus animales contraen la enfermedad de una forma, por así decirlo, totalmente accidental.

Si alguien duda de que la ciencia da poder, poder, por ejemplo, para controlar las enfermedades, que recuerde el caso que acabo de tratar.

Robert Koch, el otro gran «cazador de microbios»

No es posible hablar de Pasteur sin hacer lo propio de Robert Koch (1843-1910), que se distinguió en el problema con el que su colega francés terminaba una de las citas que he utilizado: desarrollar técnicas para estudiar microbios en cultivos. Ambos fueron los grandes responsables del establecimiento de la microbiología, y en particular de la teoría microbiana de algunas enfermedades.

Koch comenzó a estudiar ciencias naturales en la Universidad de Gotinga, pero pronto pasó a medicina, disciplina en la que se doctoró en 1866. Tras ejercer la profesión durante bastantes años, y servir a su país en la guerra franco-prusiana, a los cuarenta años sus intereses experimentaron un fuerte cambio cuando comenzó a

ocuparse del ántrax, desarrollando nuevas técnicas para el estudio de cultivos (en 1876 —esto es, antes que Pasteur— describió su etiología y patología), tras lo cual fue designado por la Oficina Imperial de la Salud de Berlín para asesorar en cuestiones de salud e higiene pública. En 1882, después de haber desarrollado métodos sencillos y originales para hacer crecer y examinar cultivos bacterianos, anunciaba en la Sociedad de Fisiología de Berlín su descubrimiento del bacilo de la tuberculosis, una enfermedad —cuya primera denominación fue «tisis», «consunción» después— responsable entonces de la muerte de cientos de miles, cuando no millones, de personas cada año (sólo en Prusia la mortalidad ascendía en 1882 a trescientos por cada 100.000 habitantes).[48] Un año más tarde, identificaba el bacilo del cólera (también el de la conjuntivitis quirúrgica).

Para comprender mejor la situación a la que se enfrentaron científicos como Koch y Pasteur, citaré a continuación algunos fragmentos de la conferencia que Koch pronunció el 4 de agosto de 1890, en el X Congreso Internacional de Medicina celebrado en Berlín, titulada «Sobre la investigación bacteriológica».[49] «La bacteriología», señaló en aquella ocasión, «es una ciencia muy joven, por lo menos en lo que se refiere a nosotros, los médicos. Hasta hace unos quince años, apenas si se sabía algo más que en el carbunco y en la fiebre recurrente aparecen en la sangre unas formaciones extrañas peculiares, y que en las enfermedades por infección de las heridas existen, ocasionalmente, los llamados vibriones. No se contaba aún con una demostración de que estos elementos podían ser los causantes de aquellas enfermedades y, con excepción de unos pocos investigadores considerados como extravagantes, se concebían tales hallazgos más bien como curiosidades que como supuestos productores de enfermedades. Tampoco se podía pensar de manera muy diferente, pues no se había demostrado nunca que se tratase de seres independientes y específicos para estas enfermedades. En los líquidos en putrefacción,

especialmente en la sangre de animales ahogados, se habían encontrado bacterias que no se distinguían de los bacilos del carbunco. Algunos investigadores no querían, en absoluto, otorgarles la categoría de seres vivientes, sino que los consideraban como formaciones cristaloideas. Bacterias idénticas a los espíritus de la fiebre recurrente existirían en las aguas pantanosas y en el sarro de los dientes, habiéndose hallado bacterias semejantes a los micrococos de las enfermedades de las infecciones de las heridas, al parecer, en la sangre y en los tejidos sanos.»

Y continuaba:

> Con los recursos ópticos y experimentales de que se disponía tampoco se podía ir más lejos, y así se hubiera seguido durante mucho tiempo si no hubieran aparecido, justo entonces, nuevos métodos de investigación que impusieron, de pronto, conductas completamente distintas, abriendo caminos hacia horizontes más amplios en ese oscuro terreno. Con el auxilio de los sistemas de lentes perfeccionados y su empleo más adecuado y con la colaboración del uso de los colorantes de anilina, se consiguió observar nítidamente hasta las bacterias más pequeñas, pudiéndoselas distinguir, en cuanto a su morfología, de otros microorganismos. Al mismo tiempo y mediante la utilización de sustratos nutritivos, líquidos o sólidos, según las exigencias, fue posible separar los gérmenes en forma aislada y obtener cultivos puros sobre los que se pudieron determinar las propiedades particulares de cada una de las especies de manera absolutamente segura. Muy pronto se observaron los resultados obtenidos con estos nuevos recursos. Se descubrió una cantidad de especies nuevas, bien caracterizadas, de microorganismos patógenos, y, lo que fue especialmente importante: se demostró la relación causal entre éstos y las enfermedades correspondientes. Como los agentes patógenos hallados pertenecían, todos, al grupo de las bacterias, eso despertó la suposición de que las verdaderas enfermedades infecciosas debían estar condicionadas, exclusivamente, por determinadas especies bacterianas, distintas entre sí, pudiéndose abrigar, también, la esperanza de que en un tiempo no muy lejano podrían encontrarse los causantes específicos de las restantes enfermedades contagiosas.

Más adelante, casi al final de su exposición, Koch se

refería a otra de las grandes aplicaciones de la ciencia microbiológica que él había contribuido a fundar, y cuya mención no puede faltar en un texto como es el presente, que tiene entre sus objetivos la historia social de la ciencia del siglo XIX:[50]

> Con toda intención evité, hasta aquí, una cuestión, y es la que justamente con más frecuencia, y en realidad, no sin cierta recriminación, se plantea a los bacteriólogos. Me refiero a la pregunta de para qué ha servido, pues, todo el trabajo ímprobo empleado en el estudio de las bacterias. Verdaderamente, no debería ser interrogado, en absoluto, en este sentido, pues la auténtica investigación prosigue su camino imperturbable sin tener en cuenta si su trabajo proporcionará, o no, utilidades inmediatas. Pero, en este caso, no puedo, sin embargo, hallar del todo injustificado este planteamiento, pues es bien cierto que de los que se ocupan en investigaciones bacteriológicas son los menos los que abandonaron completamente los objetivos prácticos...
>
> Sólo quiero recordar lo que se ha hecho en el campo de la desinfección. Precisamente aquí se carecía, antes, de todo asidero, se actuaba completamente en tinieblas y, con frecuencia, se malgastaron enormes sumas en desinfecciones inútiles, sin mencionar el daño indirecto que acarrean, por otra parte, las medidas higiénicas desacertadas. En la actualidad, poseemos, en cambio, criterios seguros, con cuyo auxilio estamos capacitados para probar los desinfectantes en lo que a su eficacia se refiere, y, aun cuando hay mucho todavía que realizar en este terreno, podemos afirmar, no obstante, que los procedimientos de desinfección que se emplean en estos momentos, en cuanto llenan los requisitos a que se los somete, también cumplen realmente con su cometido.
>
> Debe tenerse en cuenta también, a los fines de las aplicaciones prácticas, el empleo de los métodos bacteriológicos para el control de la filtración del agua, pues ellos no pueden, precisamente, ser reemplazados con este objeto por ningún otro. En relación con esto, se hallan las informaciones proporcionadas por la investigación bacteriológica sobre las propiedades filtrantes del suelo y las importantes conclusiones que se desprenden para el aprovechamiento del agua subterránea para la provisión de este líquido y para la construcción adecuada de cisternas.
>
> Igual que para el agua, tales métodos serían útiles para el

> control de la leche, especialmente cuando se destina a la alimentación de los niños, así como para el análisis de otras sustancias alimenticias y objetos sospechosos de estar contaminados. El estudio del aire de las alcantarillas y la rectificación así obtenida de los conceptos generalmente difundidos sobre lo pernicioso de los albañales, el análisis del aire de las aulas, la demostración de la existencia de bacterias patógenas en las sustancias alimenticias, en el suelo, etcétera, tienen, innegablemente, relaciones íntimas con la práctica.

Era, ciertamente, un espléndido sumario de virtudes las que presentaba el sabio alemán. Y justo fue, en consecuencia, que en 1905 recibiese el premio Nobel de Medicina o Fisiología, por sus investigaciones y descubrimientos en relación con la tuberculosis y el desarrollo de la bacteriología científica. Fue una lástima que Pasteur no pudiese acompañarlo (había muerto en 1895).

Aprovechó Koch la ocasión que le proporcionó la preceptiva conferencia que pronunció en Estocolmo (el 12 de diciembre de 1905), para comentar la situación en que se hallaba la lucha contra la tuberculosis. No está de más recordar algo de lo que dijo entonces, al fin y al cabo estamos hablando de uno de los grandes males que acosaron durante siglos a la humanidad:[51]

> Me gustaría llamar su atención sobre un fenómeno que merece la mayor consideración. El de la uniforme y significativa caída de la mortalidad debida a la tuberculosis en varios países.
>
> En Inglaterra esta disminución ha estado en marcha durante los últimos cuarenta años. Significativamente tal disminución es menor en Escocia, estando completamente ausente en Irlanda. El declive de la tuberculosis en Prusia es muy pronunciado. Durante la década 1876-1886, la mortalidad debida a la consunción todavía se mantenía en un alto nivel constante. A partir de 1886, disminuyó año tras año, y ahora ha caído en más del 30 por 100; esto es, un tercio. Se ha calculado que, como resultado de esto, aunque el tamaño de la población ha aumentado durante este tiempo, cada año morirán de tuberculosis en Prusia unas 20.000 personas menos que hace veinte años.

Aunque no todo marchaba como debía: «En otros países», añadía Koch, «por ejemplo, en Austria y Hungría, la mortalidad debido a la consunción se ha mantenido en su antiguo, y considerable, nivel». «Es difícil decir cuáles son las razones de los comportamientos característicos de la tuberculosis en los países citados.»

Estos comentarios de Koch me sirven para volver a un punto al que he aludido de pasada con anterioridad: que a pesar de los grandes avances que se produjeron en la microbiología, bacteriología y patología decimonónicas, la aplicación de éstos a la lucha contra las enfermedades infecciosas no fue todo lo rápida que se podría suponer, aunque no tardasen demasiado en aparecer instituciones, nacionales o locales, dedicadas a la bacteriología e inmunología. «Un ejemplo estremecedor», ha escrito Josep Lluís Barona,[52] «que puso en evidencia la penuria terapéutica y la ineficacia del conocimiento médico fue la enorme catástrofe demográfica que provocó la pandemia de gripe de 1918.» Tras lo cual añadía: «Los primeros frutos derivados de la bacteriología y la serología tuvieron una eficacia muy limitada: las campañas de vacunación contra el cólera, la sueroterapia preventiva de la difteria, las vacunaciones antirrábicas, la ineficacia de cualquier tipo de medidas frente al tifus, que era endémico en muchas zonas de Europa y amplias regiones de Polonia y Rusia, como en el caso de la malaria en zonas pantanosas de Italia o España. El progresivo descubrimiento de los microorganismos patógenos y su vinculación a la idea de *causa específica* de muchas enfermedades apenas se traducía, a principios del siglo XX, en soluciones terapéuticas eficaces».

De hecho, la aplicación más sistemática y extendida de la medicina bacteriológica tuvo lugar en el mundo colonial.[53] El conocimiento obtenido de los mecanismos de transmisión de enfermedades que se daban en los trópicos, permitió la campaña contra los mosquitos llevada a cabo en La Habana en 1901 bajo la dirección del general estadounidense William C. Gorgas. El resultado fue que en

apenas un año desapareció prácticamente la fiebre amarilla.

Para los españoles, la actuación norteamericana suscita sentimientos especiales, ya que España no hizo nada parecido durante su dominio en Cuba, que finalizó, como es bien sabido, en 1898, al ser derrotada por Estados Unidos. Y la situación sanitaria del ejército español se había hecho insostenible desde hacía tiempo. Ya cité, en el capítulo 2, una carta (del 10 de septiembre de 1898) de Santiago Ramón y Cajal, que estuvo en Cuba como médico militar desde la primavera de 1874 hasta junio de 1875 (regresó enfermo gravemente de paludismo), a Gustav Retzius en la que recordaba sus años cubanos y mencionaba que en la guerra en la que él luchó «España perdió por enfermedades causadas por el clima más de 200.000 hombres; y en la actual lleva perdidos más de 60.000 de paludismo y disentería». Y la situación cubana no hizo sino empeorar tras el regreso de Cajal, a pesar de los avances que tuvieron lugar en microbiología y bacteriología. En 1896, por ejemplo, frente a 7.270 heridos en acciones de guerra, 23.580 soldados enfermaron de fiebre amarilla y 33.402 de paludismo.[54] En tales condiciones, como también señalaba Cajal, «es imposible mantener una colonia». Estados Unidos no cometió el mismo error.

Continuando con la introducción de las técnicas bacteriológicas en el mundo colonial, tenemos que el mismo general Gorgas realizó una labor similar a la que había efectuado en el Caribe en Panamá, facilitando de esta manera la construcción del Canal. Como ha señalado Rodríguez Ocaña, «la compañía francesa que lo inició, en 1880, había registrado 35.000 muertos por fiebre amarilla, paludismo y disentería antes de que los norteamericanos se hicieran cargo en 1904; la campaña higiénica consiguiente supuso que para 1906 dejaran de presentarse casos». Al menos en ocasiones como éstas, la ciencia médica se constituyó en un instrumento muy eficaz para la extensión colonial; esto es, en un instrumento político, ya que lo que animó a, en este caso, Estados Unidos a emprender las campañas citadas fueron intereses claramente políticos y

económicos.

Anestésicos

Hasta ahora me he estado refiriendo a avances médicos resultados de investigaciones científicas en las que se buscaba comprender las causas de, por ejemplo, una enfermedad, su etiología, y de ese conocimiento derivar medios para combatir el mal. Pero el siglo XIX no debe ser recordado únicamente por este tipo de avances, por esa medicina netamente científica. Es imprescindible también rememorarlo por los logros, extremadamente importantes, que se produjeron dentro de la propia medicina, pero de la «medicina no científica», podríamos decir. Avances como los llevados a cabo por el dentista estadounidense Horace Wells (1815-1848), que en diciembre de 1844 utilizó éter, esto es, óxido nitroso (entonces denominado «gas hilarante», por los efectos estimulantes que producía), como anestésico para extraerse él mismo una de sus muelas; el debido a John Collins Warren (1778-1856), ayudado como anestesista por el dentista William Thomas Morton (1819-1868), que el 16 de octubre de 1846, en el Hospital General de Massachusetts de Boston, realizó la primera operación con éter, tras la cual pronunció una frase célebre: «Señores, esto no es superchería»; el de James Young Simpson (1811-1870), que el 19 de enero de 1847 utilizó, en Edimburgo, por primera vez cloroformo para aliviar los dolores de un parto; o el de Ignaz Semmelweis (1818-1865), que en 1848 descubrió una de las causas de la infección de las heridas en la suciedad de las manos de los médicos, introduciendo medidas antisépticas (como el lavado de manos). Y no olvidemos al célebre médico londinense John Snow (1813-1858), que en 1854 demostró claramente, aunque con argumentos meramente circunstanciales, que todos los casos de cólera surgidos en un distrito de Londres podían ser atribuidos a una sola fuente contaminada de agua potable.[55] Su logro entra dentro de lo que terminaría denominándose «medicina

preventiva».

Lister y las técnicas de asepsia

Todo esto estuvo muy bien, fue, de hecho, una bendición; ahora bien, no era suficiente: las muertes en los quirófanos continuaban proliferando, consecuencia del hecho de que todavía se desconocía por qué aquellas medidas antisépticas resultaban tan beneficiosas. Persistía un grave problema tanto sanitario como científico, un problema que resolvería el médico inglés Joseph Lister (1827-1912).

Conocedor de los estudios que Pasteur llevó a cabo durante la primera mitad de la década de 1860 sobre la fermentación y de su descubrimiento de que el aire puede transportar bacterias que producen infecciones en heridas, pero no disponibles todavía los de Koch sobre el papel de las bacterias como fuente de infección en las heridas, Lister convirtió la gangrena de los miembros en el primer ejemplo de fermentación patológica en el hombre, estableciendo así un vínculo entre la putrefacción de la carne necrosada y los gérmenes externos descubiertos por el francés. Provisto de ese poderoso y liberador instrumento que es siempre el conocimiento, Lister encontró un eficaz remedio contra la gangrena: experimentó con éxito con ácido fénico, pulverizándolo en la sala de operaciones y aplicando curas de pomada fenicada, con el fin de destruir los microorganismos que infectaban el campo operatorio (su primer gran logro tuvo lugar en agosto de 1865, en la operación de una fractura compuesta). Poco después, en 1866, Ernst von Bergmann (1836-1907) empleó por primera vez la técnica de Lister, esterilizando por vapor los guantes y ropas del cirujano al igual que las de sus ayudantes e instrumentos empleados.

El dominio de Lister fue sobre todo el hospital, y no el laboratorio científico propiamente dicho (sus aportaciones a la naturaleza de los procesos contagiosos no fueron, desde el punto de vista de la ciencia básica —en la medida en que

tenga sentido aquí este término—, grandes). Aun así, cuando se leen algunos de sus escritos, queda claro que el lenguaje, preocupaciones y estudios de Lister distan de los procedimientos seguidos por los Wells, Morton, Simpson y compañía. «En el curso de una amplia investigación acerca de la inflamación y de los estados normales», manifestó en uno de esos escritos, titulado «Sobre el principio antiséptico de la práctica de la cirugía» (1867), «llegué, hace varios años, a la conclusión de que la causa fundamental de la supuración de las heridas es la descomposición producida por la influencia de la atmósfera en la sangre o suero que retiene, y en el caso de las heridas contusas, en las porciones de tejido destruidas por la agresión.»[56] Y más adelante, en una frase que difícilmente habría sido escrita antes de que se hubiesen desarrollado las técnicas de análisis microscópico y las ideas que surgieron de ellas:[57] «El primer objetivo del tratamiento ha de ser la destrucción de todos los gérmenes sépticos que hayan podido penetrar en la herida, tanto en el momento del accidente como durante el tiempo transcurrido desde entonces».

Pero, fuesen o no importantes sus aportaciones científicas, que lo fueron, y mucho, le consideremos o no un científico, sería imposible minimizar su contribución, al igual que la de sus precursores. Baste recordar que antes de ellos, entrar en un quirófano era en un gran porcentaje de casos casi despedirse de la vida. Tras aquellos pioneros, dentistas o cirujanos, la mortalidad operatoria, que antes de ellos se cifraba en torno al 50 por 100, descendió a un 6 por 100. Mucho para nuestros estándares actuales, prácticamente nada para lo que nuestros antepasados estaban acostumbrados. Sin olvidar que los que sobrevivían, habían tenido que soportar horribles carnicerías, a las que los anestésicos pusieron también fin.[58]

Dije antes que Lister encontró apoyo en los trabajos de Pasteur. No es sorprendente, ya que el mismo científico francés terminó viendo en el campo de intereses del médico inglés un dominio natural para sus propias investigaciones. Especialmente claro en este sentido son algunos pasajes de

un artículo de Pasteur (en colaboración con Joubert y Chamberland) que cité con anterioridad, titulado «La teoría de los gérmenes y sus aplicaciones a la medicina y a la cirugía». Explicaba allí:[59]

> En esta agua, en esta esponja, estas vendas con las que se lava o recubre una herida, se depositan gérmenes que... pasan a los tejidos con gran facilidad. En poco tiempo matarían a los operados si la vida, en las zonas lesionadas, no se opusiera a la multiplicación de aquellos gérmenes. Sin embargo, cuántas veces esta resistencia vital es insuficiente o la constitución del herido, su debilidad, su estado moral, las malas condiciones de las curas no oponen más que una débil barrera a la invasión de los microorganismos allí donde se ha recubierto la zona lesionada. Si tuviera el honor de ser cirujano, convencido como estoy de los peligros a los que exponen los gérmenes de los microbios repartidos por la superficie de todos los objetos, especialmente en los hospitales, no sólo me serviría de instrumentos perfectamente limpios, sino que además me lavaría las manos con mucho cuidado y las pasaría rápidamente por la llama. Ello no comporta más inconvenientes que los de un fumador, que pasa una brasa ardiendo de una mano a otra. Sólo emplearía hilas, vendas y esponjas expuestas a aire calentado a 130-150° y agua calentada a 110-120°. Todo ello es muy práctico. De este modo, sólo temería a los gérmenes suspendidos en el aire alrededor de la cama del enfermo, pero la observación demuestra cada día que el número de estos gérmenes es, por así decirlo, insignificante al lado del que contiene el polvo de la superficie de los objetos o de las aguas más límpidas. Por otra parte, nada se opone al empleo de procedimientos antisépticos en las curas quirúrgicas; sin embargo, junto a las precauciones que indico, estos métodos pueden simplificarse mucho. El ácido fénico no concentrado y, por tanto, sin el inconveniente de su causticidad para las manos del cirujano o para la respiración puede sustituir al ácido fénico concentrado.

Por cierto, Pasteur terminaba su artículo mencionando a Lister:[60] «Hace unas semanas (en la sesión de medicina y cirugía de la Academia de Ciencias), Sedillot no dudó en declarar que el éxito y el fracaso de la cirugía encuentran una explicación racional en los principios de la teoría de los

gérmenes y que ella dará lugar a una cirugía nueva, ya inaugurada por un célebre cirujano inglés, el doctor Lister, que ha sido uno de los primeros en comprender su fecundidad.[61] Sin ninguna competencia profesional, pero con la convicción del experimentador autorizado, repito aquí las palabras de nuestro eminente colega».

La vacunación

Gracias a las investigaciones de Pasteur y de Koch, y de los que vinieron tras ellos, se llegó a conocer con gran precisión científica la relación causal entre microorganismos y enfermedades infecciosas. Surgió así, como hemos visto, un modo nuevo de concebir la enfermedad: la teoría microbiana de algunas enfermedades.

Estrechamente asociada a esta visión, aunque con antecedentes muy antiguos, se encuentra el desarrollo decimonónico de vacunas. Desde tiempos remotos, los turcos «vacunaban» contra la viruela tomando muestras del contenido de las pústulas de los casos moderados de viruela e inoculándolas a personas sanas (la palabra «vacunación» deriva del latín *vaccinae*, que quiere decir «de la vaca»; parece que fue Pasteur el primero en emplearla en 1880). La arriesgada práctica llegó a oídos de la esposa del embajador de Inglaterra en Constantinopla, Lady Mary Wortley Montagu (1689-1762), que en 1718 la difundió, a través de sus contactos políticos y médicos, en Gran Bretaña, aunque no era infrecuente que algunas de las personas con las que se utilizaba muriesen. Sería otro inglés, Edward Jenner (1749-1823), el responsable de la introducción, en 1798, de la vacunación contra la viruela a gran escala, aunque con una variante con respecto al método que difundió Montagu: Jenner no inoculaba el virus de la viruela, sino el de la viruela bovina, que es distinto, pero que provoca reacciones inmunitarias eficaces contra el de la viruela común. Además, y esto es muy importante, no tomaba muestras hasta el séptimo día de la aparición de las pústulas, es decir, cuando el germen había perdido parte de

su virulencia. Consciente o inconscientemente, Jenner había descubierto el principio de la vacunación por gérmenes debilitados. De esta manera, y aunque no se poseía ningún modelo del mecanismo a través del cual se produce una infección, ni sobre cómo funciona una inmunización, la idea de que la inoculación con un germen debilitado podía ayudar al organismo a defenderse de él se vio reforzada.

Pasteur y la vacuna contra la rabia

Y aquí vuelve a aparecer, en toda su grandeza, Pasteur, que en 1880, tras aislar el microbio responsable del cólera de las gallinas (un mal que podía matar hasta el 90 por 100 de las gallinas de un corral), consiguió disminuir su virulencia siguiendo la técnica de Jenner; esto es, inyectando en las gallinas microbios debilitados. Estimulado por los resultados favorables que obtenía, aplicó el principio de la debilitación de los gérmenes para preparar vacunas contra la rabia, enfermedad infecciosa mortal, que afecta a los perros (que enloquecen produciéndoles horror al agua, por lo que también se denomina hidrofobia), pero que igualmente pueden contraer —mediante mordeduras de éstos— las personas. Sus primeros estudios en este campo comenzaron en diciembre de 1880, cuando un veterinario le llevó dos perros rabiosos y le pidió su opinión. Sólo había experimentado con perros cuando, en 1885, le llevaron a un niño de nueve años, Joseph Meister, que había sido mordido por un perro rabioso. A pesar de no ser médico, Pasteur aceptó el desafío y experimentó la vacuna en el niño con éxito. Había nacido la vacunación moderna (la única gran modificación que se produciría posteriormente fue la introducción de vacunas obtenidas por ingeniería genética, que se iniciaron en 1983 y cuyo primer producto comercializado fue la vacuna contra la hepatitis B, en 1986).

El éxito obtenido con Meister atrajo al laboratorio de Pasteur a personas no sólo de Francia sino también de otras

partes del mundo (sobre todo de Europa). El contenido de una carta que envió al cirujano y fisiólogo inglés Victor Horsley (1857-1916) en agosto de 1886, nos da idea de la magnitud de ese éxito:[62]

> Al 22 de agosto de 1886, han sido tratados en mi laboratorio preventivamente contra la rabia, después de mordeduras por animales que tenían rabia o que se sospechaba que la tenían:

		Mortalidad
Francia y Argelia	1.324	4, Pelletier, Peytel, Lagut, Clédières
Inglaterra	68	0
Austria-Hungría	43	0
Alemania	9	0
América	18	0
Brasil	2	0
Bélgica	50	0
España	75	2, Cañardia Ribes (13 años) y Pita (70 años)
Grecia	10	0
Portugal	24	0
Holanda	14	1, Mendenick (13 años)
Italia	138	0
Rusia	186	8, de lobos sobre 50 tratados 4, de perros sobre 136 tratados
Rumania	20	2
Suiza.	2	0
Turquía	2	0
Bombay	1	0
Total	1.986	21, de los cuales 8 lo fueron por lobos. Y el resto (13) por perros

> Esto representa una mortalidad de alrededor del 1 por 100, incluyendo las mordeduras de lobos.
>
> Y una mortalidad de alrededor del 1 por 150 por mordeduras de perros.
>
> Si no consideramos más que los 1.324 tratados de Francia y Argelia, con 4 muertos, la proporción es de 1 muerto por cada 330. De manera que la proporción, la más baja de muertes por rabia sobre 100 mordidos que habían osado invocar las personas hostiles al descubrimiento, la del 5 por 100, es completamente errónea. En cualquier caso, incluso con esta misma proporción del 5 por 100, los 1.324 mordidos de Francia y Argelia habrían correspondido a 65 muertos.
>
> En mi Comunicación del 1 de marzo de 1886, he dado la proporción de 16 muertos por 100 mordidos.[63] Mi convicción

es que esta proporción no es exacta y demasiado reducida. Con esta estimación, los 1.324 mordidos de Francia y Argelia habrían producido 112 muertos por rabia.

En definitiva, la eficacia del método es tal que sólo en 4 casos ha sido ineficaz el tratamiento.

La difusión del método de Pasteur fue tal que en 1907 al menos 51 institutos, distribuidos por Europa, Asia, América y África, utilizaban ya vacunas contra la rabia. En Rusia, que, como acabamos de ver, seguía a Francia y Argelia en número de personas tratadas en el laboratorio de Pasteur, fue considerado un héroe después de que las autoridades de ese país le enviasen a 19 rusos procedentes de Smolensko que habían sido mordidos por un lobo rabioso y que con el tratamiento que recibieron en París 16 salvasen la vida. En Francia, se promovió una suscripción pública para la construcción de un instituto que, dirigido por Pasteur, continuase los trabajos de búsqueda y desarrollo de nuevas vacunas. Superados los dos millones de francos (100.000 donados por el príncipe zarista Alejandro III), en noviembre de 1888 se inauguró —con la presencia del presidente de la República, Sadi Carnot— en París el que hasta la fecha se denomina Instituto Pasteur, y en el que, por cierto, se encuentra la tumba del gran científico, ya que su familia quiso que sus restos reposasen allí y no en el Panteón, como les ofreció el gobierno francés. El propio Pasteur contribuyó al bienestar futuro del centro, al establecer que los derechos por las ventas en Francia de las vacunas descubiertas en el laboratorio fuesen a parar al Instituto. Pronto éste se convirtió en uno de los centros de referencia mundial en la investigación biomédica, una posición que, aunque algo disminuida, no ha abandonado completamente.

Tanto éxito tuvo el Instituto que pronto se vio superado. «Los pedidos llegaron pronto al Instituto Pasteur», recordó Émile Roux, que dirigió el centro entre 1904 y 1918, «cartas y despachos se apilaban sobre las mesas, los solicitantes se apiñaban a las puertas, médicos y bacteriólogos de todos los países venían a aprender la

preparación del suero. ¿Cómo satisfacer todas las solicitudes? ¿Cómo comprar, alojar, alimentar e inmunizar a toda la caballería cuya sangre proporcionaría el remedio? 64 Todo el activo del Instituto Pasteur habría sido insuficiente. La generosidad pública vino en nuestra ayuda. La ciudad de París y la Escuela de Alfort pusieron caballerizas a nuestra disposición; diversos particulares nos ofrecieron caballos; el Estado, la ciudad de París, el Departamento del Sena y otras entidades aportaron subvenciones, y *Le Figaro* abrió una suscripción que reunió un millón. Gracias a estos recursos y a la dedicación incansable de mis colegas del Instituto Pasteur, en pocos meses se organizó un gran servicio seroterapéutico en Garches, en una propiedad del Estado, y pronto ningún diftérico carecía del precioso medicamento.»65

La ciencia puede, en efecto, movilizar a amplios sectores de la sociedad, constituyéndose en un instrumento social de gran importancia, tanto a nivel nacional como internacional. Como ha escrito Gerald Geison en la biografía de Pasteur que compuso:66 «Al igual que el propio idioma francés, el término “Instituto Pasteur” sirve incluso como un recordatorio del poder colonial que Francia disfrutó en el pasado. Desde hace mucho, los Institutos Pasteur han formado parte de la “misión civilizadora” francesa a lo largo y ancho del mundo, incluyendo especialmente antiguas colonias en África y el sudeste asiático, entre otros lugares. Los primeros discípulos que dejaron París para difundir el mensaje de Pasteur en África incluso dieron el nombre de Pastoria a un área particularmente bella de ese continente».67

El primer Instituto Pasteur fuera de Francia se creó en Saigón en 1889, mientras que en 1893 se establecieron dos más, uno en Túnez y otro en Nha Trang (Vietnam). Y más tarde llegarían muchos otros, los primeros los de Argel (1910), Atenas (1920), Teherán (1921), Dakar (Senegal, 1924) y Casablanca (1928). Ciertamente ha sido la de estos centros una «misión civilizadora», que además muestra con prístina claridad uno de los poderes, sociopolítico en esta

ocasión, de la ciencia.

Una nota sobre el caso español

A pesar de lo que vimos con respecto a Cuba, en algunos apartados España no estuvo demasiado alejada de los movimientos internacionales destinados a aplicar las nuevas técnicas bacteriológicas e inmunológicas. De hecho, fue un español, el bacteriólogo catalán seguidor de las ideas de Pasteur, Jaume Ferrán (1852-1929), quien desarrolló la primera vacuna para una enfermedad humana, el cólera, que fue utilizada en la epidemia que se inició en Játiva en la primavera de 1885.[68] Dos años después, el Ayuntamiento de Barcelona encomendó a Ferrán la organización en la ciudad de un Laboratorio Microbiológico Municipal, que dirigió hasta 1905, cuando fue sustituido en la dirección por Ramón Turró (1854-1926), que también realizó algunas contribuciones a la microbiología, como la invención de un dispositivo para cultivar gérmenes anaerobios.[69] Este centro fue el primero en España en preparar y emplear suero antidiftérico.

Siguiendo el ejemplo catalán, en 1894 el gobierno propuso la creación de un Instituto Nacional de Higiene y Bacteriología, que sin embargo no llegó a funcionar, aunque la dotación prevista para él sirvió para la constitución en 1899 de un Instituto de Sueroterapia, Vacunación y Bacteriología, que en 1903 tomó el nombre de Alfonso XIII. De hecho, a partir de 1903 fue obligatorio establecer laboratorios de higiene e institutos de vacunación en todas las capitales provinciales.

El atractivo de la bacteriología fue tal en aquellos años que incluso Santiago Ramón y Cajal sintió la tentación de dedicarse a ella, después de que, con ocasión de la citada epidemia de cólera valenciana, la Diputación de Zaragoza, que deseaba disponer de la mejor información sobre la vacuna anticolérica de Ferrán, pidiese a Cajal que preparase un informe.[70] En sus *Recuerdos* escribió al respecto:[71] «La referida investigación sobre el cólera me trajo el gusto por

la bacteriología y por el estudio de los problemas patológicos. Muchas veces me he preguntado si no hubiera sido mejor para mi porvenir moral y económico haber cedido al imperio de la moda, abandonando definitivamente, a ejemplo de muchos, la célula por el microbio. Ciertamente, no faltaban incentivos y razones para justificar un cambio de frente. El camino histológico me condenaba sin remisión a la pobreza, en compensación de la cual sólo brindaba, si lo recorría con fortuna, el frío elogio o la tibia y razonada estima de dos o tres docenas de sabios, harto más inclinados a la emulación que al panegírico; mientras que el camino de la bacteriología, menos trillado entonces y bordeado de tierras casi vírgenes, prometía al investigador afortunado inagotables veneros económicos, popularidad ruidosa y acaso gloriosa epifanía. Ahí estaban como ejemplos vivos y emulaciones soberanas esos bienhechores de la humanidad, que antaño se llamaban Pasteur, Koch, Lister, y que hoy se llaman Behring, Roux, Ehrlich, Löfler, Schaudin, Gras, Metchnikoff, etcétera».72

España, en definitiva, no estuvo, en modo alguno, tan alejada de la investigación bacteriológica más avanzada, al contrario de lo que sucedía por entonces en otras ciencias, como la matemática o la física cuyo desarrollo en el siglo XIX fue esplendoroso (y, en el caso de la segunda, como ya vimos en otro capítulo, muy rentable económicamente). Además de lo poco que he mencionado aquí, podría haber recordado otros muchos hechos, como, por ejemplo, la pronta traducción al español de textos como (en 1843) la *Allgemeine Anatomie* de Jakob Henle, primera exposición sistemática de la nueva histología basada en la teoría celular, o (en 1868) la *Cellularpathologie* de Rudolf Virchow, realizada por Juan Giné Partagás y Bartolomé Robert Yarzábal (y que Cajal manejó durante sus años de estudiante en Zaragoza). También podríamos mencionar el establecimiento de centros como la Escuela Libre de Medicina fundada en Sevilla, a comienzos de la década de 1870, a instancias del cirujano Federico Rubio Galí

(1827-1902), en la que se dotó la primera cátedra española de Histología, que ocupó el andaluz Rafael Ariza Espejo (1826-1887) tras formarse en Berlín junto a Virchow, y en la que también se instalaron laboratorios bien dotados de micrografía, química y fisiología, este último tomando como modelo el de Carl Ludwig en Leipzig.[73]

El que España se encontrase en una situación mucho mejor en las ciencias biomédicas que en las físico-químicas y matemáticas se debe a algo que ya señalé en el capítulo 2, cuando consideré el caso de Ramón y Cajal. «La aparición de un Cajal en física, química o matemáticas», dije entonces «habría sido mucho más difícil. Y es que un país puede pasar, malamente, eso sí (y más aún a partir del siglo XX), sin físicos, químicos o matemáticos, salvo algunos que se limiten a transmitir algunas enseñanzas, pero no sin médicos.» Lo esbozado en esta sección no hace, en mi opinión, sino confirmar semejante aserto.

Capítulo 5

LAS MUJERES Y LA PROFESIÓN CIENTÍFICA

Antes de que nos adentremos en el siglo XX, voy a ocuparme de un tema que no podría estar ausente en una historia de la ciencia que haga hincapié en la dimensión social: el de la mujer y la profesión científica. Recordemos, aunque sea evidente (a uno casi le da vergüenza mencionar esta obviedad), que las mujeres constituyen, aproximadamente, la mitad de la «cantera» de la que pueden surgir los profesionales de la ciencia, los científicos.

La emancipación de la mujer

La emancipación de la mujer, esto es, la igualdad completa de derechos entre los dos sexos, ha sido —y continúa siendo— uno de los temas y problemas que adquirieron intensidad creciente durante el siglo XX. Naturalmente, se trata de una cuestión que había surgido mucho antes. Así, algunos de los pensadores de la Ilustración fijaron su atención en el papel de la mujer en la sociedad.[1] Theodor Gottlieb von Hippel (1714-1796), un miembro muy influyente de la sociedad de Königsberg (ciudad de la que llegó a ser alcalde), publicó en 1793 un libro, *Über die bürgerliche Verbesserung der Weiber* (*Sobre la mejora civil de la mujer*), en el que mantenía que el talento de la mujer era igual al del hombre, residiendo la muy notable diferencia observada entre las aportaciones de ambos sexos en el hecho de que la inteligencia y cultura de las mujeres eran descuidadas, si no deliberadamente reprimidas. En el alba de la Revolución Francesa, Marie-Jean Antoine Nicolas Caritat, marqués de Condorcet (1743-1794), defendió con vigor y prístinos argumentos los

derechos de las mujeres. Si los derechos son naturales, sostenía, no se les puede negar a quienes participan de igual naturaleza, nada más y nada menos que la mitad del género humano. «O ningún individuo de la especie humana tiene verdaderos derechos, o todos tienen los mismos», escribía en un ensayo titulado *Sobre la admisión de las mujeres al derecho de ciudadanía*, que data de 1790.[2] «Rechazar», añadía, «los derechos políticos de la mujer nos llevaría al contrasentido de admitir mujeres en la jefatura del Estado y no en las urnas o en una función pública de carácter electivo (porque los derechos políticos de la mujer deben incluir, desde luego, el sufragio pasivo). De otro modo, oponerse a la incorporación de la mujer a los derechos políticos por el temor de que la vida pública la aparte de la familia y del hogar nos llevaría a excluir a todos los que tienen una ocupación útil por el mismo motivo: los trabajadores, los artesanos, etcétera..., con lo que la Asamblea Nacional representaría sólo a una aristocracia adinerada y desocupada. Y decir que no pueden cumplir funciones públicas porque están expuestas a embarazos y a indisposiciones pasajeras comportaría excluir de las mismas a los hombres que se resfrían frecuentemente y a los que padecen gota en el invierno.»

Sin embargo, finalmente la Revolución Francesa, aquel hermoso y decisivo movimiento para la historia posterior de la humanidad, el del maravilloso lema «Libertad, igualdad y fraternidad», no hizo honor a sus principios en lo que a las mujeres se refiere. Von Hippel, por ejemplo, pensaba que aquélla no había aportado nada a la igualdad de las mujeres. «¿Cómo pudo», escribía, «un pueblo que existe por y para el bello sexo dejarlo de lado en la mundialmente celebrada Igualdad?... La nueva Constitución merece que repita mis reproches, porque da por bueno el no considerar a toda una mitad de la nación... Todos los seres humanos tienen los mismos derechos. Todos los franceses hombres y mujeres deben ser libres y ciudadanos.»

No le faltaba, efectivamente, razón a von Hippel.

Aunque inicialmente, y en la línea defendida por Condorcet, el vigor de la Revolución Francesa se había transmitido también hacia la igualdad de los sexos, y algunas mujeres francesas se habían organizado para luchar por sus derechos, el Terror no tardó en extenderse también a este ámbito: Olympe de Gouges (1745-1793), que había redactado una «Declaración de los derechos de la mujer», fue ejecutada por realista en 1793; el mismo año, Anne-Joseph Théroigne de Méricourt (1762-1817), otra de las líderes del movimiento feminista, fue apaleada por mujeres jacobinas, y acabó sus días en un manicomio. Finalmente, y también en 1793, la Convención disolvió las asociaciones femeninas a instancias de los jacobinos. Mal organizadas, carentes de apoyos políticos firmes, demasiado cultivadas para la mujer media francesa, que en su gran mayoría ni siquiera sabía leer, las feministas revolucionarias fueron incapaces de asentar sus ideas en la sociedad de su tiempo.

El liberalismo del siglo XIX, menos llamativo sin duda que la brillante y dramática Revolución Francesa, pero más efectivo a la larga en lo que se refiere a la orientación que tomó la vida social de algunas de las sociedades más avanzadas, incidió de forma importante en la cuestión feminista. La declaración clásica de la aplicación del credo liberal a las mujeres fue formulada por el que acaso sea su teórico más señalado: John Stuart Mill. Su ensayo, *The Subjection of Women* (*El sometimiento de las mujeres*), escrito en 1861 y publicado en 1869, fue la biblia de las feministas. Según Richard Evans, «es difícil exagerar la enorme impresión que causó en la mentalidad de las mujeres cultas de todo el mundo. En el mismo año que se publicó en Inglaterra y Norteamérica, Australia y Nueva Zelanda, también apareció traducido en Francia, Alemania, Austria, Suecia y Dinamarca. En 1870 fue publicado en polaco e italiano, y también las estudiantes de San Petersburgo hablaban de él con entusiasmo. Hacia 1883, la traducción sueca dio lugar a un debate entre un grupo de mujeres de Helsinki que fundaron el movimiento femenino finlandés tan pronto como terminaron de leer el libro... su

publicación coincidió con la fundación de movimientos feministas no sólo en Finlandia, sino también en Francia y Alemania».[3] Los párrafos iniciales del libro de Mill resonarían durante mucho tiempo en los oídos alertas de las feministas:

> El propósito de este ensayo es explicar, tan claramente como sea capaz, los fundamentos de una opinión que he mantenido desde la muy temprana época en que formé todas mis ideas sobre asuntos sociales o políticos, y que, en lugar de haberse debilitado o modificado, ha ido haciéndose más fuerte con la reflexión y la experiencia que da la vida: que el principio que regula las relaciones sociales existentes entre los dos sexos —la subordinación legal de un sexo al otro— es erróneo en sí mismo, y en la actualidad uno de los principales obstáculos a la mejora humana; y que debe ser reemplazado por un principio de perfecta igualdad, que no admita ningún poder o privilegio para una de las partes, ni indefensión en la otra.

Es interesante señalar, especialmente para el lector hispano, pero también como una muestra de la difusión que tuvo el tema de los derechos de las mujeres entre los progresistas de todo el mundo, que el mismo año que se publicaba la obra de Mill, José Echegaray, el ingeniero, matemático, político y dramaturgo español con el que ya nos hemos encontrado en otro capítulo, pronunciaba una de las «Conferencias dominicales sobre la educación de la mujer», organizadas por la Universidad de Madrid. El tema elegido por Echegaray fue el de la «Influencia del estudio de las Ciencias Físicas en la educación de la mujer», elección que justificaba, con un patente tono proteccionista, en los siguientes términos:[4]

> ¿Por qué he escogido este tema? ¿Por qué voy a hablar de ciencias exactas, de las grandes leyes de la naturaleza? ¿Por qué? ¿Para qué? Para defenderos, para rechazar una opinión que creo injusta, que creo indigna de vosotras, por más que sea harto vulgar. Hay muchos que opinan... que la mujer no debe ocuparse en nada serio, grave e importante; que, bien al contrario, sólo las cosas fútiles y ligeras son dignas del bello sexo.

Afortunadamente, Echegaray no compartía semejante punto de vista, que rechazaba «enérgicamente en nombre de la justicia, de la verdad y de las nuevas ideas, que generosas y elevadas pugnan por regenerar a la mujer, fortificando su espíritu y desarrollando su razón». Sin embargo, algunas de las contradicciones que aquejaban a una parte importante de los defensores —hombres al igual que mujeres— de los derechos de las mujeres, se muestran en las manifestaciones del ingeniero español. Así, inmediatamente después de señalar que «la mujer... es un ser racional, tan racional como el hombre», pasaba a declarar que de todas maneras «en la naturaleza las cosas no son tan sencillas, tan fáciles, tan únicas como a primera vista parecen: bajo la unidad, dentro de la unidad, está la variedad. Así, la materia, el barro humano es uno, es siempre barro, y sin embargo, cuando con ese barro humano se fabrica el hombre, ese barro es fuerza, es energía, es vigor; cuando con ese barro humano se fabrica la mujer, es belleza, es elegancia, es hermosura. La sensibilidad es siempre sensibilidad, y, sin embargo, una cosa es la sensibilidad en el hombre y otra cosa muy distinta en la mujer. La sensibilidad en el hombre es pasión, pasión ardiente; la sensibilidad en la mujer es amor, amor purísimo».

Naturalmente, la obtención de mayores derechos para las mujeres varió de una nación a otra. En lo que sigue me ocuparé principalmente de las naciones protagonistas de este libro: Estados Unidos, Inglaterra, Alemania y Francia, con una muy breve mención al caso español.[5] Semejante limitación no constituye, sin embargo, una deficiencia fundamental, ya que esos países figuran entre aquellos en los que el fenómeno feminista se desarrolló con cierta intensidad, y los logros y los obstáculos se detectan en ellos con cierta facilidad. Al no ser la igualdad de los sexos el tema único —ni, por supuesto, el principal— de esta obra, mi discusión sobre él no aspira a ningún tipo de completitud. No obstante, los casos y ejemplos que siguen muestran con claridad, cuando se considera su conjunto,

esos logros y obstáculos que acabo de mencionar.

Inglaterra

Ya hemos visto que durante el último tercio de siglo, Gran Bretaña, y dentro de ella Inglaterra en particular, compartía con Alemania, aunque cada vez a mayor distancia, el dominio de la ciencia internacional. Es interesante, por consiguiente, analizar la situación en que se encontraban las mujeres en ese país, en lo que se refiere a la enseñanza superior, la principal vía de acceso a la práctica de la ciencia.

Londres

Como en otros aspectos, la Universidad de Londres fue la pionera en el Reino Unido en la incorporación de las mujeres a la educación superior.[6] Veamos, sumariamente, cómo se desarrolló el proceso.[7]

Hasta mediados del siglo XIX no comenzó a considerarse seriamente la cuestión del acceso de las mujeres a la educación secundaria, no ya universitaria. Fue entonces cuando se fundaron Queen's College (1848), los Ladies' College de Belford Square (1849) y Cheltenham (1853) y North London Collegiate School (1850), dedicados inicialmente a la educación secundaria de las mujeres. Es interesante apuntar que mientras que Queen's College era de inspiración firmemente anglicana, y en él enseñaban varios profesores del King's College, el Ladies' College de Belford Square mantenía una actitud laica, y formaban parte de su claustro profesores del University College. El antagonismo y diferentes planteamientos de King's y University, que marcaron la creación y primeros tiempos de la Universidad de Londres, se extendieron también a este nuevo dominio.

El camino hacia la admisión plena en la universidad fue más largo y complicado. A pesar de que uno de los

puntos de la Carta de la Universidad era el conceder títulos de «todas las clases y denominaciones... sin ningún tipo de distinción», las mujeres encontraron serios problemas. En mayo de 1856, el *Registrar* de la universidad recibía la siguiente carta, firmada por Jessie Meriton White:

> Señor:
> ¿Puede una mujer llegar a ser candidata para un diploma en medicina, si, al presentarse al examen aporta todos los requisitos de carácter, capacidad y estudio certificados por una de las instituciones reconocidas por la Universidad de Londres?

La petición llegaba en un momento muy oportuno —para algunos, delicado—, ya que en 1854 se había aprobado una ley que reconocía, a efectos de la práctica médica los títulos expedidos por la Universidad de Londres.[8] Ésta pidió consejo legal ante la pregunta de la señorita White, tras la cual contestó que no se consideraba capacitada para admitir mujeres como candidatas a los títulos que otorgaba. No tuvo, pues, Jessie White la fortuna de abrir un nuevo capítulo en la historia de la universidad londinense, pero no hay duda de que debía de ser una mujer de carácter. Se casó con un conde italiano, y llegó a ser famosa como Madame Mario durante la revolución italiana; fue la líder de un grupo de mujeres que actuaron de enfermeras en los hospitales de Nápoles.

En 1862 la situación se repitió, en esta ocasión con Elizabeth Garret, que también aspiraba a graduarse en medicina. Por un solo voto, el Senado de la universidad decidió mantener su decisión anterior.[9] No obstante, muchas voces se alzaron en contra y en 1866 la asamblea de graduados de la universidad (*Convocation*) logró que se instituyeran exámenes especiales para mujeres. No se trataba todavía de un acceso a los títulos más prestigiosos ofrecidos por la universidad, sino unos «Certificados de suficiencia» (*Certificates of Proficiency*).

Hacia mediados de la década de los setenta se hicieron más intensas las presiones encaminadas a lograr la igualdad plena entre ambos sexos. En 1876 una ley del Parlamento

permitía —aunque no obligaba— que los tribunales que examinaban en medicina admitiesen a mujeres. No obstante, el Royal College de Médicos y el Royal College de Cirujanos no utilizaron este permiso hasta 1908 y 1909, respectivamente. La Universidad de Londres no tardó tanto: a comienzos de 1877 el Senado aprobó que se confiriesen títulos en medicina a mujeres (en Irlanda, el Royal College de Médicos también abrió las puertas a la profesión médica al sexo femenino en 1877). De todas maneras, 230 graduados en medicina por la universidad (incluyendo a tres miembros del Senado) firmaron una petición en la que argumentaban que semejante paso iría «en detrimento de los intereses de la universidad». El proceso iniciado en la capital del imperio era, no obstante, irreversible y poco después, antes de que finalizase 1877, el Senado votaba en favor de la admisión plena de las mujeres, con iguales derechos a los hombres y en todas las facultades. En 1878, el University College de Londres se convertía en el primer centro universitario coeducacional de la nación.[10] En 1879 tuvo lugar el primer examen igualitario, al que se presentaron 68 mujeres, de las que aprobaron 51. El año siguiente, cuatro estudiantes femeninas obtenían el título de Bachelor of Arts (B.A.), lo que las convertía en las primeras mujeres graduadas por una universidad británica. En 1881, dos mujeres lograban el título de Bachelor of Sciences (B.Sc.). El primer doctorado —precisamente en ciencias; D.Sc.— de una representante del sexo femenino, lo logró Sophie Bryant en 1884, una de las dos B.Sc. de 1881.[11]

Una vez conseguida la equiparación, el número de mujeres entre los graduados de la universidad fue creciendo: en 1885 constituían el 10 por 100; en 1895 el 20 por 100, y en 1900 superaban el 30 por 100 (de los 536 graduados de aquel año, 169 fueron mujeres).

Acabo de referirme a 1900, y aunque el tema que me ocupa es mucho más particular, puede ser útil presentar algunos datos del censo nacional del año siguiente, 1901, que reflejan las diferencias existentes en lo que a profesiones se refiere entre hombres (H) y mujeres (M),

tanto en Inglaterra y Gales (I&G), como en Escocia (E), Irlanda (Ir) y el conjunto de la nación, Gran Bretaña (GB).[12]

PROFESIONES DE ASALARIADOS (SELECCIÓN)
(en miles)

	H				*M*			
	I&G	*E*	*Ir*	*GB*	*I&G*	*E*	*Ir*	*GB*
1. Funcionarios	42	4	6	52	14	2	2	18
2. Funcionarios gobiernos locales	26	3	4	33	11	–	1	12
3. Funcions. ejército	13	1	1	15	–	–	–	–
4. Funcions. Marina	5	–	–	5	–	–	–	–
5. Sacerdotes	40	5	6	51	–	–	–	–
6. Abogados	21	4	3	28	–	–	–	–
7. Empleados de bufetes	34	6	2	42	–	–	–	–
8. Doctores, dentistas, veterinarios, ingenieros, topógrafos, arquitectos	59	8	6	73	1	–	–	1
9. Maestros	59	7	7	73	172	17	13	202
10. Autores, editores, periodistas, taquígrafos, científicos, pintores, escultores	23	2	1	26	1	–	–	1
11. Fotógrafos, músicos, actores	38	3	1	42	33	3	1	37
12. Comerciantes	5	1	2	8	–	–	–	–
13. Bolsa	64	7	5	76	2	–	–	2
14. Vendedores y viajantes comerciales	66	10	4	80	1	–	1	2
15. Empleados comerciales e industriales	308	38	19	365	56	16	3	75
16. Banqueros y financieros	31	5	3	39	–	–	–	–
17. Granjeros	203	46	328	577	21	8	71	100
18. Empleados de teléfonos	14	2	–	16	9	2	–	11
Totales (incluyen profesiones no listadas aquí)	2.529	313	497	3.375	864	135	146	1.145

Cambridge

El sistema educativo superior inglés (el británico en

general) del siglo XIX tuvo uno de sus principales feudos —especialmente en lo que a las ciencias físico-matemáticas se refiere— en la Universidad de Cambridge, en donde el *Mathematical Tripos* dominaba completamente. Es conveniente, por tanto, analizar la situación de las mujeres en la pequeña ciudad universitaria situada a orillas del río Cam.

Los primeros movimientos encaminados a crear colleges para mujeres en Cambridge tuvieron lugar a finales de la década de 1860. Los esfuerzos de Emily Davies, una firme defensora del derecho de la mujer a la educación, condujeron a que se estableciese en 1869 en Hitchin un college ligado a Cambridge destinado a preparar a mujeres jóvenes para ciertos exámenes. En 1874 el college se trasladó a Girton, un pueblo a poco más de 3 kilómetros de Cambridge, del que tomó su nombre: Girton College.

De manera inicialmente menos formal, en l868 James Stuart, un joven *lecturer* (profesor titular) de matemáticas de Trinity College, comenzó a ofrecer cursos a estudiantes de diferentes colleges, algo inusual hasta entonces para alguien que no fuese *professor* (catedrático). Sin embargo, la experiencia tuvo éxito y el año siguiente se repitió, con la asistencia ya de mujeres, que fueron alojadas por otros militantes de la causa femenina, el *professor* Henry Sidgwick y su esposa. En 1875 se daba un nuevo paso al establecer locales permanentes en Newnham, con el propósito de preparar estudiantes femeninas para la *Higher Local Examination* que acababa de crearse. Al contrario de otros colleges de Cambridge, Newnham College, como se le denominó a partir de 1880, era una institución puramente secular (no tenía, por ejemplo, capilla). Por el contrario, se puede decir que Girton era un college al estilo masculino para mujeres.

La posibilidad de admitir estudiantes de Girton y Newnham a los exámenes que daban acceso a los títulos (*honours*) otorgados tradicionalmente por la Universidad de Cambridge suscitó mucho interés hacia 1880. Lo que de entrada se discutió fue únicamente si podrían ser

examinadas, no el que tuviesen derecho a un título, algo que se descartaba. Hasta entonces, se habían dado algunos casos de mujeres a las que los examinadores habían permitido presentarse al *Mathematical Tripos*, pero aunque los resultados de sus exámenes no se habían mantenido en secreto, no habían sido publicados en la lista oficial, lo que significaba que oficialmente no habían existido.

El tema fue llevado al Senado de la universidad. He aquí cómo J. J. Thomson, el famoso físico, que finalizó sus estudios aquel mismo año, describió los acontecimientos en su autobiografía:[13]

> Una discusión muy animada y larga tuvo lugar en el Senate House sobre la propuesta [de admitir mujeres en los exámenes], y durante algunos días previos a la votación, los panfletos a favor y en contra de la propuesta fueron tan abundantes como las hojas en el otoño. Ambos bandos desarrollaron una vigorosa campaña, e incluso vino un número muy elevado de miembros del Senado que no vivían en Cambridge.[14] Los estudiantes no graduados [que no podían votar] tomaron parte en el asunto con gran interés: marchaban por las calles portando pancartas con inscripciones de diverso tipo, todas, o casi todas, en contra de la propuesta. Figuras supuestamente que representaban a estudiantes femeninas no graduadas con birrete y toga fueron colgadas por las calles.

Finalmente, la propuesta fue aprobada por un estrecho margen: 398 votos a favor, frente a 366 en contra.

La situación permaneció así hasta poco antes de finales de siglo. En 1897, cuando Girton y Newnham llevaban ya más de veinte años funcionando, se planteó la cuestión de si conceder el título de Bachelor of Arts a aquellas mujeres que hubiesen cumplido los requisitos tradicionales: residir en Cambridge durante cierto tiempo, pasar exámenes como el básico denominado *Little-Go*, así como los *Tripos*. En realidad, tampoco en este caso las mujeres tendrían los mismos derechos que los hombres, pero sí que podrían añadir a su nombre las siglas B.A., algo que podía ser ventajoso a la hora de buscar un trabajo y desarrollar una profesión. La propuesta, sin embargo, se encontró con una

firme oposición. El debate en el Senado duró tres días, los informes de los discursos pronunciados ocuparon 66 páginas del *Reporter* de la universidad. Hubo una avalancha de pasquines. El editor del *Cambridge Review* llevó a cabo un sondeo, enviando 2.803 postales para que estudiantes y graduados con el título de B.A. que residiesen en Cambridge emitiesen su opinión sobre si las mujeres debían ser admitidas en la universidad, lo que, de hecho, no era el tema a debate. Recibió 2.189 respuestas: 1.723 en contra de esa admisión, frente a 466 a favor. El día de la votación oficial en el Senado hubo una gran número de votantes, el mayor registrado hasta entonces. La propuesta fue derrotada por 1.707 votos frente a 661.

No se volvió a intentar nada hasta 1920. Aquel año se nombró una Comisión de doce miembros para estudiar la antigua propuesta de 1897. Obviamente, se puso mucho cuidado en formar una comisión en la que los puntos de vista estuviesen equilibrados, ya que emitió dos informes, cada uno suscrito por seis miembros. Uno de los informes estaba a favor de que las mujeres fuesen admitidas en la universidad con los mismos derechos que los hombres, mientras que el otro estaba a contra, manifestando que la solución se encontraba en crear una universidad, o varias, limitadas exclusivamente a mujeres, al estilo de los colleges existentes en Estados Unidos —Bryn-Mawr, Smith, Vassar y Wellesley—, que habían tenido mucho éxito. Sin embargo, ambas propuestas encontraron violentas oposiciones, volviéndose a dar una situación similar a la de 1897. De nuevo, la votación en el Senado dio un resultado negativo para las aspiraciones de las mujeres: 712 miembros votaron en favor de su admisión completa, 904 en contra.

La situación, sin embargo, era cada vez más absurda y anacrónica, por lo que poco después, en 1921, se llegó a un compromiso, y el Consejo de la Universidad decidió que las mujeres podían obtener títulos, con la condición de que el alumnado de Newnham y Girton no sobrepasase, sin un permiso especial del Senado, la cifra de quinientas (en Oxford las mujeres habían sido admitidas como alumnas

ordinarias en 1920).[15] Esto significaba que habría una mujer por cada diez hombres entre los estudiantes de Cambridge. También podían ocupar puestos docentes, como cátedras, y votar en las elecciones de representantes de la universidad en el Parlamento; no obstante, no tenían voto en los asuntos internos de la universidad.

Desde nuestra perspectiva actual, esta penosa historia muestra con claridad que la educación, incluso, como en este caso, la educación superior, de élites, no es por sí sola suficiente a la hora de emitir juicios morales. Entre aquellos que se opusieron con vehemencia a las propuestas en favor de una mayor igualdad entre los dos sexos, se pueden encontrar figuras tan notables como Lord Kelvin, como vimos en el capítulo 2, una de las torres intelectuales de todo el siglo XIX. Kelvin, un graduado de Cambridge, segundo *wrangler* en el *Mathematical Tripos* de 1845, fue *chairman* del comité local de graduados de Cambridge que se formó en 1897 para oponerse a la propuesta de permitir que las mujeres pudiesen obtener títulos de la universidad.[16]

Estadísticas generales

Acabamos de ver que a comienzos de la década de 1920 se normalizó, legislativamente hablando, la situación universitaria de las mujeres británicas. Una cosa es, naturalmente, *legislativamente hablando* y otra en la práctica. Para apreciar cómo fue evolucionando la situación real a lo largo de los años que siguieron a 1920, es útil mostrar algunas cifras, que aunque al referirse únicamente a las universidades británicas arrastran todas las particularidades de esa nación, pueden servir también de pauta general para darse cuenta del cambio que ha ido experimentando la educación superior de las mujeres en las naciones más desarrolladas.[17]

Veamos, en primer lugar, la proporción entre hombres (H) y mujeres (M) existente en los estudiantes que ingresaban en las universidades de la nación.[18]

NUEVOS ESTUDIANTES ADMITIDOS

Año		
1922/3		
1927/8		
1932/3		
1937/8		
1940/1		
1944/5		
1945/6		
1947/8		
1952/3		
1957/8		
1962/3		

Y ahora comparemos cómo se distribuían los dos sexos en las principales carreras.

	Humanidades		*Ciencias puras*		*Medicina*		*Tecnología*	
Año	*H*	*M*	*H*	*M*	*H*	*M*	*H*	*M*
1922/3	10.232	7.999	5.634	2.129	9.498	2.368	5.849	78
1927/8	13.367	9.694	5.229	2.003	7.074	1.148	3.877	54
1932/3	15.952	9.223	6.328	2.066	9.835	1.412	4.443	91
1937/8	15.046	7.304	5.900	1.849	11.428	1.913	4.690	87
1940/1	7.205	6.830	3.947	1.685	10.691	2.261	3.894	75
1944/5	3.904	8.770	4.472	2.311	9.219	2.772	5.036	191
1945/6	10.466	10.815	6.269	3.040	10.262	2.948	6.008	276
1947/8	23.022	12.195	11.234	3.310	12.720	3.187	9.857	289
1952/3	22.432	12.484	13.559	3.442	14.020	3.265	9.822	171
1957/8	26.149	14.972	16.985	4.722	13.317	3.455	13.655	204
1962/3	31.580	19.626	24.460	7.347	13.118	3.749	16.663	348

ESTADOS UNIDOS

Al igual que en muchos otros aspectos, el caso de Estados Unidos se mueve dentro de unas coordenadas relativamente diferentes a las de las naciones europeas. Su gran extensión territorial, elevado número de centros educativos de todo tipo, tradiciones y estilo de vida explican tal diferencia. De hecho, en el dominio de la educación femenina, Estados Unidos mantuvo una actitud mucho más abierta de la que tuvo, por ejemplo, Inglaterra. Como veremos, esto no quiere decir que las mujeres

encontrasen en Norteamérica mayores facilidades que en otros lugares a la hora de intentar desarrollar una carrera científica.[19]

El movimiento en favor de que las mujeres accediesen a la educación superior comenzó a afirmarse en Estados Unidos en la década de 1860. Aunque Oberlin College había estado abierto a ambos sexos desde su fundación en 1833, el auténtico empuje vino con la apertura en 1865 de Vassar College, en Poughkeepsie, Nueva York. Hacia 1870, muchas de las universidades estatales, especialmente las que se habían creado con los beneficios de la venta de terrenos públicos, aceptaban estudiantes femeninas.[20] Al principio, Cornell y la Universidad de Michigan fueron las que más hicieron por la educación científica de mujeres, pero esto cambió con el establecimiento de varios colleges femeninos (Smith [1871], Wellesley [1875], Bryn Mawr [1885] y Baltimore College for Women [1885]), que además de prestar atención a la ciencia daban empleo a un buen número de mujeres como profesoras.

Como es natural, cuando se buscan los argumentos que se utilizaban en la época para defender el acceso de las mujeres a la educación superior, se encuentran todo tipo de justificaciones, pero ciertamente no faltaban, más bien lo contrario, abundaban, aquellos que hacían referencia a la satisfacción personal que tales estudios producirían en las jóvenes estudiantes. Limitándome al campo de la ciencia, no se esperaba que las mujeres graduadas se convirtiesen en científicas profesionales; si acaso, que participasen en la empresa científica como *amateurs*. La ambivalencia en que se movían incluso las propias mujeres era notoria. Williamina P. Fleming, una «computadora» (mujer que realizaba —manualmente o con máquinas muy primitivas— cálculos complicados) del Harvard College Observatory, y de la que hablaré más adelante, escribía en 1893:[21] «Aunque no podemos mantener que toda mujer es igual al hombre, en muchas cosas su paciencia, perseverancia y método la hacen superior a él. Por consiguiente, esperemos que en astronomía, que en la actualidad proporciona un

amplio campo para el trabajo y habilidades de la mujer, ésta pueda, como ha ocurrido en otras ciencias, al menos demostrar ser su igual».

De todas maneras, es indudable que los vientos corrían favorables a las mujeres. Un ejemplo significativo es el de la Exposición Universal que se celebró en Chicago en 1893, la gran exposición colombina que, como la de Sevilla de 1992, pretendía celebrar el descubrimiento del Nuevo Mundo. Todas las grandes Exposiciones Universales habían sido utilizadas por las naciones anfitrionas para mostrar al mundo lo mejor de sí mismas y Estados Unidos pretendía, naturalmente, hacer lo mismo con la Exposición de Chicago. Por ello es significativo que la mujer fuese uno de los temas seleccionados para figurar de manera prominente en la Exposición.

En efecto, uno de los locales de la exhibición era el Edificio de las Mujeres, en el cual se celebraron exposiciones que mostraban los logros de las mujeres en educación, artes, ciencias e industria. Asimismo, se estableció una comisión nacional compuesta por 115 miembros (denominada popularmente «*Board of Lady Managers*»). «Más importante que el descubrimiento de Colón», señaló ante una audiencia de más de 100.000 personas Bertha Honoré Palmer, presidenta de la Comisión, «es el hecho de que el gobierno acabe de descubrir a la mujer.»[22] Asimismo, tuvo lugar un Congreso Mundial de Mujeres Representativas, que comenzó el 15 de mayo; 330 mujeres hablaron ante una audiencia que sumó, en total, 150.000 personas.

Si queremos saber qué estudios científicos seguían las primeras mujeres universitarias norteamericanas, podemos utilizar datos recopilados por Margaret Rossiter, que arrojan bastante luz acerca de los campos a que se dedicaron las científicas estadounidenses hasta 1920.[23] En ese período, 414 mujeres se licenciaron en materias científicas en 98 instituciones. Los títulos se repartieron de la siguiente forma: botánica 80, zoología 80, psicología 67, ciencias médicas 45, matemáticas 41, química 35, geología

23, física 23, astronomía 18 y antropología 2. Una proporción apreciable de estas estudiantes (94) procedían de Wellesley, Vassar y Smith Colleges.

Otro indicador en el mismo sentido, pero ahora a partir de 1920, es el de los doctorados adjudicados a mujeres en las universidades estadounidenses.[24]

DOCTORADOS PARA MUJERES (1920-1938):[25]

Campo	*Total*	*por 100 del total*
Medicina	125,4	21,4
Química	48,2	6,4
Física	18,6	1,1
Zoología	35,3	2,5
Matemáticas	13,4	1,3
Botánica	29,8	1,9
Psicología	45,7	2,6
Antropología	19,7	1,9

FRANCIA

El caso francés es, en algunos aspectos, peculiar. Durante la segunda mitad del siglo XIX, la situación legal de la mujer en Francia era bastante buena. Consecuentemente, en principio no estaban excluidas ni de la educación superior ni de las profesiones, con la excepción de la abogacía, que les estuvo vetada hasta 1899. Ahora bien, en la práctica sí que existían problemas. En el punto que nos concierne, encontramos que era difícil que las mujeres fuesen admitidas en la universidad, ya que hasta 1905 las escuelas estatales femeninas no preparaban para la obtención del *baccalauréat*,[26] requisito en principio imprescindible para entrar en la universidad. Por consiguiente, hasta aquel año la forma para acceder a una carrera universitaria era obtener un permiso especial del Ministerio de Instrucción Pública. Así, en 1866 el Ministerio autorizó la matrícula de mujeres en la Facultad de Medicina. Entre 1868 y 1882, 19 mujeres se doctoraron en medicina, aunque hay que señalar que sólo cinco de estas graduadas eran francesas (una de las características de la

educación superior en Francia desde finales del siglo XIX fue la fuerte presencia de estudiantes extranjeros).[27] En 1901 el número de estudiantes femeninas en las universidades francesas era de novecientos, lo que equivalía a un porcentaje del 3 por 100 sobre el total del alumnado. En 1910, una mujer era admitida en la elitista École Normale Supérieure.

Los dos cuadros siguientes permiten apreciar bastante bien la situación universitaria de las mujeres francesas, así como de las extranjeras que seguían estudios en Francia.

POBLACIÓN ESTUDIANTIL EN LAS UNIVERSIDADES FRANCESAS
(los números entre paréntesis corresponden a los porcentajes del total)[28]

	Hombres franceses	*Hombres extranjeros*	*Mujeres francesas*	*Mujeres extranjeras*	*Total*
1876	10.700 (96)	1.500 (4)	–	–	11.200
1890	15.055 (91)	1.532 (9)	–	–	16.587
1902	27.835 (92)	1.451 (5)	1.673 (2)	1.411 (1)	30.370
1914	33.302 (79)	4.480 (11)	2.547 (6)	1.707 (4)	42.037
1935	50.122 (62)	9.318 (11)	18.908 (23)	2.815 (3)	81.218

MUJERES ESTUDIANTES EN UNIVERSIDADES FRANCESAS[29]
por 100 de la población estudiantil

Facultad	*Mujeres francesas*	*Mujeres extranjeras*
Derecho		
1902	0,1	0,2
1914	0,8	0,9
1935	3,5	2,8
Medicina		
1902	2,5	2
1914	4,7	3,2
1935	3,5	2,2
Ciencias		
1902	0,9	0,9
1914	5,8	3,8
1935	2,7	2,8
Letras		
1902	1,2	1,2
1914	1,3	1,3
1935	4,5	2,8
Farmacia		
1902	2,5	

1914	[illegible]
1935	[illegible]
Totales	
1902	[illegible]
1914	[illegible]
1935	[illegible]

Dos comentarios antes de dejar el caso francés. En primer lugar, es importante indicar que aproximadamente la mitad de las mujeres universitarias seguían sus estudios en París. El tradicional centralismo francés o, si se prefiere, la poderosa atracción ejercida por la capital se manifestaba en esta dimensión también. Tal tendencia se mantuvo desde la época en que llegaron a las aulas universitarias hasta comienzos de la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, se dieron desviaciones dentro de esa tendencia general. A partir de la primera década del nuevo siglo disminuyó de manera significativa el número de alumnas en la Facultad de Ciencias de París. La razón de este fenómeno se encuentra en el auge de la enseñanza aplicada en las facultades de provincias, auge, como vimos en el capítulo 2, estimulado por las necesidades de las industrias locales.

En segundo lugar, es interesante señalar que cuando se comparan los porcentajes de mujeres estudiantes sobre el total del alumnado universitario, se encuentra que en Francia las mujeres accedieron a la universidad en mayor número y más fácilmente que en Inglaterra y Alemania (27 por 100 en 1936 y 40 por 100 en 1961, frente a 23 y 25 por 100 para Inglaterra y 16 y 22 por 100 para Alemania). Tal vez fuese una consecuencia retardada de la Revolución.

ALEMANIA

El caso alemán fue mucho menos favorable para los derechos de las mujeres que el de las restantes grandes naciones de la ciencia. Varios son los motivos. Por un lado, el protestantismo germano no fue progresista, como ocurrió en otras naciones; desde la época de la Reforma, la Iglesia

protestante alemana había sido la Iglesia del Estado, con lo cual sus intereses eran los de éste. Aunque la clase media germana era grande, en la práctica a partir de la década de 1870 se mostró satisfecha con un Imperio alemán unificado, en el que el poder se encontraba en manos de la aristocracia militar, la reducida élite de los grandes industriales y el emperador. Las reclamaciones progresistas de la Revolución de 1848 se habían ido disolviendo hasta casi desaparecer. Un ejemplo de esto se halla, precisamente, en el movimiento feminista. En 1848 Louise Otto-Peters, que llegaría a encabezar una Allgemeiner Deutscher Frauenverein (Asociación General de Mujeres Alemanas), reclamaba públicamente la igualdad entre los dos sexos, incluyendo el voto para la mujer. En 1865 la Asociación General de Otto-Peters pedía la plena igualdad en materia de enseñanza, incluyendo la admisión de niñas en las escuelas primarias de niños (lo que era considerado inmoral por las autoridades). Diez años más tarde, únicamente solicitaba una educación adecuada de la mujer para la maternidad. De hecho, en Alemania no hubo escuelas estatales primarias hasta mediados de la década de 1890. Un feminismo más radical sólo aparecería en Alemania a comienzos del siglo XX y uno de sus principales objetivos fue la obtención del sufragio para las mujeres.

En lo que a la educación superior se refiere, el punto que a nosotros más nos interesa, nos encontramos con que hasta poco antes del comienzo de la Primera Guerra Mundial no empezaron a aparecer con regularidad en las universidades alemanas algunas (no muchas) estudiantes, lo que no es sorprendente si tenemos en cuenta lo dicho con respecto a la educación primaria para niñas. Durante muchos años, las mujeres sólo pudieron acceder a la universidad a través de algún permiso especial; dependía sobre todo del gusto del profesor. Prusia, el principal estado del Reich, sólo decidió admitir mujeres en sus universidades en 1908. El año anterior el número de mujeres en universidades no prusianas fue de poco más de 300. Pero una vez que Prusia levantó su veto los números crecieron

rápidamente:[30] en 1909 ya había 1.400 mujeres en las universidades germanas; 2.500 en 1911 y 8.300 en 1921.[31] Teniendo en cuenta todas las instituciones de nivel universitario, el número era de 8.600 en 1926 y de 21.200 en 1931, lo que implica que la década de los años veinte fue decisiva para la incorporación de las mujeres al mundo universitario alemán.

Cuando los nazis llegaron al poder, tomaron como uno de sus objetivos el organizar las escuelas y universidades. Por primera y única vez en su historia Alemania tuvo un sistema educativo administrativamente centralizado. Uno de los puntos de su programa fue el de intentar limitar el porcentaje de mujeres al 10 por 100 del total de la población estudiantil. (En 1926 el 9 por 100 de los estudiantes universitarios alemanes eran mujeres; en 1931 había ascendido al 16 por 100. En 1938 bajó al 11 por 100, para volver a subir al 16 por 100 en 1951 y al 22 por 100 en 1960.)[32]

Breve apunte sobre el acceso de las mujeres españolas a la educación superior

Al igual que la mayoría de los países, España no se distinguió demasiado en lo que se refiere a la admisión de las mujeres en la educación superior.[33] Uno de los primeros intentos legales de proporcionar a éstas algún tipo de educación superior fue la creación, con Fernando VII, en 1819, de los Reales Estudios de Dibujo y Adorno. Otra profesión desempeñada tradicionalmente por mujeres y que requería conocimientos específicos fue la de comadrona o partera. Esta actividad, regulada ya en 1750, se normalizó en 1804, estableciéndose que las matronas fueran examinadas por los Reales Colegios de Cirugía.

El Magisterio fue otra de las salidas profesionales más antiguas para las mujeres. De hecho, se dedicaron a la profesión de maestras, antes incluso de poseer la correspondiente titulación. Fue en 1858 cuando se creó una Escuela Normal Central de Maestras.

En cuanto a los estudios universitarios, la situación fue un tanto curiosa, ya que ante la ausencia de mujeres españolas en las aulas universitarias, y como parecía que éstas no tenían ninguna intención de adentrarse en ellas, la legislación no contemplaba la posibilidad o la prohibición. Fue en 1888 (Orden de 11 de junio) —diez mujeres habían cursado estudios universitarios— cuando se estableció la obligatoriedad de pedir un permiso especial para que se matriculasen oficialmente mujeres. Matricularse libremente en la enseñanza universitaria oficial, sin previa consulta a la autoridad, no fue posible hasta 1910 (Real Orden de 8 de marzo).

La excepcional incorporación a las aulas universitarias de algunas mujeres antes de concluir el siglo XX (quince entre los años 1880-1890; siete medicina y cirugía, tres ciencias, tres filosofía y letras y dos farmacia) no significó su ejercicio profesional, salvo en aquellas especialidades más adecuadas (medicina femenina e infantil, farmacia), menos aún su incorporación a la investigación. Recordemos que la primera catedrática universitaria en España fue (en 1916) la escritora Emilia Pardo Bazán, y que lo fue con el voto en contra del claustro.

De licenciadas a científicas

En las páginas precedentes he intentado ofrecer algunos datos que muestran el camino que tuvieron que recorrer las mujeres para acceder a la educación superior en las naciones con mayor poderío científico durante el período que nos ocupa. Necesariamente, mi exposición no ha sido sino un esbozo de un tema amplio y complejo, entre otros motivos porque lo que en realidad más nos interesa aquí es el acceso de las mujeres al ejercicio de la profesión científica, particularmente en las disciplinas alejadas de la medicina, como es el caso de las ciencias físicas. La posibilidad de obtener una educación superior era, prácticamente, una condición necesaria pero en absoluto suficiente para que las mujeres pudieran aspirar a

convertirse en profesionales de la ciencia, en científicas.[34] De hecho, lo que ocurrió es que las puertas de la profesión científica todavía permanecieron, si no totalmente cerradas, sí entornadas, con un muy pequeño resquicio, para las mujeres.

En lo que resta de capítulo pretendo mostrar que así fue durante bastante tiempo. Hay, por supuesto, muchas formas de efectuar semejante demostración. Si mirásemos hacia lo que durante mucho tiempo se consideró como la cumbre de la profesión científica, a las Academias de Ciencias, encontraríamos que con frecuencia el acceso a ellas estuvo vetado a las mujeres. En la Royal Society de Londres (sociedad fundada en 1662), las primeras mujeres en ser elegidas miembros fueron Marjory Stephenson (1885-1948) y Kathleen Lonsdale (1903-1971), algo que ocurrió... en 1945. La prestigiosa Académie des Sciences de París (establecida en 1666) no admitió como miembro de pleno derecho a una mujer hasta 1979, a la matemática Yvonne Choquet-Bruhat (1923), que se ha distinguido en la aplicación de técnicas matemáticas a la resolución de ecuaciones en derivadas parciales en teorías como la relatividad general o la supergravedad. Antes se habían rechazado candidaturas como la de Marie Curie, la primera persona en ganar dos premios Nobel (de física y de química). En la Akademie der Wissenschaften de Berlín (creada en 1700) fue Lise Meitner (1878-1968) la primera mujer miembro; entró en 1949. En la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid la primera mujer admitida fue la bióloga molecular Margarita Salas (1938) en 1988.

Naturalmente, es posible argumentar que si se negó la entrada en las selectivas Academias de Ciencias es porque apenas existían mujeres científicas, y ya se sabe que la calidad surge de la cantidad. Aunque el ejemplo de Marie Curie demuestra que, estrictamente, tal argumento es falaz, admito que contiene un elemento de verdad, que es más una consecuencia que una causa, y no seguiré por este camino. El método que adoptaré será el de presentar

algunos ejemplos concretos de mujeres científicas, en los que se plasmen las principales miserias y penalidades —porque miserias y penalidades fueron— que sufrieron. Por motivos que enseguida comprenderemos, he seleccionado la rama de la astronomía y el caso de la matemática germana Emmy Noether como ejemplos, si no paradigmáticos, sí muy ilustrativos.[35]

Mujeres en astronomía

La relación de las mujeres con la astronomía resulta curiosa. Por alguna razón, ya antes de que pudiesen acceder a la educación superior, se encuentran bastantes ejemplos de mujeres que realizaron trabajos en astronomía. Entre 1650 y 1720, las mujeres constituían alrededor del 14 por 100 de los astrónomos de Alemania, un porcentaje desde luego superior al de otros países (una de esas mujeres, Maria Winkelmann [1670-1720], intentó entrar en la Academia de Ciencias de Berlín, pero su solicitud fue rechazada en 1712).[36] A finales del siglo XVIII, Caroline Herschel (1751-1848) ayudó a su hermano William en sus observaciones de estrellas variables, planetas y nebulosas; ella misma descubrió sola algunos cometas. En el siglo XIX, Margaret Huggins (1848-1915) colaboró con su esposo, William, uno de los pioneros en la aplicación de la espectroscopia a la astronomía (lo que convirtió esta disciplina en astrofísica), en sus estudios del espectro solar. El ejemplo más destacado de astrónoma es el de Maria Mitchell (1818-1889), la primera mujer en ser admitida en la American Academy of Arts and Sciences, en ser miembro de la American Association for the Advancement of Science y en ser nombrada *professor* de Astronomía en Estados Unidos.[37] En 1847, Mitchell, a quien su padre, un banquero y astrónomo, había enseñado las artes astronómicas, calculó la posición exacta de un cometa, observándolo también. Aquel descubrimiento le proporcionó bastante fama, aunque inicialmente continuó con su trabajo de bibliotecaria y de ayudante de su padre en el observatorio

de éste (también realizó cálculos astronómicos para el U.S. Coast and Geodesic Survey). Finalmente, en 1862 Matthew Vassar, que estaba formando un college (Vassar College) y que estaba ansioso de que una científica ilustre formase parte de su profesorado, le ofreció una cátedra. Mitchell aceptó, y de esta manera se convirtió en la primera catedrática de ciencias de la historia de Estados Unidos. (Es apropiado en la presente ocasión señalar también que en 1873 Maria Mitchell fue una de las fundadoras de la Association for the Advancement of Women [Asociación para el Progreso de las Mujeres].)

No es, sin embargo, de este tipo de casos, excepcionales en muchos sentidos, de los que me quiero ocupar, sino de los que se relacionan de manera más directa con la lucha de las mujeres por acceder a la profesión científica.

El final del siglo XIX coincidió con un desplazamiento de los principales observatorios astronómicos del Viejo al Nuevo Continente. La técnica avanzaba lo suficiente como para que fuese cada vez más costoso construir observatorios con pretensiones, y en Estados Unidos resultó posible reunir las sumas de dinero necesarias, bien porque las universidades poseían los medios suficientes bien por la existencia de benefactores inclinados en favor de la astronomía, como Percival Lowell, un rico inversor de Boston, que hizo posible la creación, en 1894, del Lowell Observatory.[38] Además, las condiciones geográficas y meteorológicas reinantes en las naciones europeas más desarrolladas no podían competir fácilmente con la variedad existente en Estados Unidos.

Al aumentar las dimensiones y complejidad de los observatorios, crecía también la necesidad de ayudantes, de personal especializado en todo tipo de funciones. Una de esas funciones, particularmente importante en astronomía y astrofísica, era la de clasificar fotografías, situar objetos estelares en las placas obtenidas o efectuar todo tipo de cálculos mecánicos. Sin las facilidades de que hoy disponemos, esas labores se realizaban manualmente; eran

trabajos subalternos.

Williamina P. Fleming

En 1881, Edward Pickering, director del Harvard College Observatory desde 1877, se enfadó tanto con la ineficacia de su ayudante masculino en copiar y calcular que declaró —según se dice— que incluso su doncella podría hacerlo mejor.[39] Inmediatamente, contrató a Williamina P. Fleming (1857-1911), una emigrante escocesa de veinticuatro años, graduada en una escuela pública, madre separada. Fleming permanecería treinta años en el observatorio y llegaría a ser una astrónoma respetada. De las 23 novas identificadas en Occidente entre 1572 y 1899, siete lo fueron por Fleming (una de ellas, la descubierta en 1895 —Z Cen, de magnitud 7— era, de hecho, una supernova). El *Draper Catalogue of Stellar Spectra* de 1890, un instrumento extremadamente útil para los astrofísicos de la época, fue debido en gran parte a los esfuerzos de Fleming. El catálogo clasificaba los espectros, dando también las magnitudes (hasta la octava) de más de 10.000 estrellas.[40]

Relacionado con esta tarea, Fleming estaba encargada de contratar y dirigir un grupo de otras mujeres ayudantes, a las que se pagaba un modesto salario por clasificar fotografías de espectros estelares. Entre 1885 y 1900 tuvo veinte de esas ayudantes, entre las que figuraban graduadas de colleges como Vassar, Wellesley o Radcliffe. Henrietta S. Leavitt (graduada por Radcliffe College en 1892), con quien nos volveremos a encontrar enseguida, fue una de ellas.

Es evidente que Fleming estuvo bien considerada por Pickering... pero hasta cierto punto: era, al fin y al cabo, nada más que una mujer. Por su parte, Fleming respetaba a su director, pero no tanto como para no indignarse ante un tratamiento que consideraba injusto cuando lo comparaba con el que recibían sus colegas masculinos. Así, el 12 de marzo de 1900, anotaba en su diario:[41]

> Tuve alguna conversación con el director con relación al

> salario de las mujeres. Parece pensar que ningún trabajo es demasiado duro para mí, no importa la responsabilidad o las horas que dure. Pero en cuanto saco a relucir la cuestión del salario se me dice inmediatamente que recibo un salario excelente teniendo en cuenta lo que cobran las mujeres... Algunas veces me siento tentada de abandonar y dejarle que intente con otra persona, o que alguno de los hombres haga mi trabajo, para que así se dé cuenta de lo que está obteniendo por los 1.500 dólares anuales que me paga, comparado con los 2.500 que reciben otros ayudantes. ¿Se para a pensar en algún momento que yo tengo una casa y una familia que mantener lo mismo que los hombres? Pero supongo que una mujer no tiene derecho a tales lujos. ¡Y a ésta se la considera una era ilustrada!

Henrietta Leavitt

Como he apuntado antes, una de las discípulas de Fleming fue Henrietta Swan Leavitt (1868-1921). Su caso es también ilustrativo.

Durante la primera década del siglo XX se hizo patente que el número de estrellas variables (estrellas cuya luminosidad varía periódicamente) era muy elevado en las Nubes de Magallanes. Leavitt fue una de las que se encargaron en el Harvard College Observatory de analizar fotografías buscando un tipo de estas estrellas: las cefeidas (la primera de las cuales —Delta Cephei— había sido detectada en 1786). Fruto de su trabajo fue un artículo que publicó en 1908, basándose en las placas fotográficas tomadas en el observatorio que Harvard tenía en Arequipa, Perú (hemisferio sur): «1.777 variables in the Magallanic clouds».[42] Lejos de limitarse a encontrar nuevas estrellas variables, Leavitt se dedicó también a determinar los períodos con que variaban sus luminosidades.[43] En el artículo de 1908 dio los períodos de 16 de esas estrellas, apuntando que «merece la pena señalar... que las [estrellas] variables más brillantes tienen períodos más largos». En 1912 había extendido sus cálculos a 25 estrellas, estableciendo que la relación entre el logaritmo de sus períodos y sus luminosidades aparentes era

aproximadamente lineal. Esta relación descubierta por Leavitt tenía un gran valor potencial como indicador de luminosidades absolutas, lo que permitiría a su vez determinar distancias astronómicas.[44] No hay duda de que la ayudante de Harvard se dio cuenta de tal utilidad; no obstante, no pudo sacar partido de ella, algo que quedaría reservado para astrónomos como Harlow Shapley o Edwin Hubble, ambos del Observatorio de Monte Wilson (el primero utilizó la relación descubierta por Leavitt para calibrar las magnitudes absolutas de cefeidas, con lo que daba el paso decisivo para poder emplearlas como indicadores de distancias; de hecho él mismo determinó las distancias a que se encuentran los cúmulos de estrellas que rodean a la Vía Láctea; utilizando cefeidas, Hubble demostró en 1924 que nuestra galaxia, la Vía Láctea, no agota el universo, que éste está poblado por galaxias separadas entre sí, con lo que sentenciaba un debate centenario; unos años después, en 1929 y utilizando de nuevo cefeidas, demostraba que el universo está en expansión). Según algunos historiadores, Pickering impidió que Leavitt continuase sus investigaciones, puesto que como ayudante su deber era reunir datos, no interpretarlos.[45] Pero probablemente sea demasiado simplista suponer que si Leavitt no llevó a cabo otros descubrimientos basados en la relación período/luminosidad fue por la intervención de Pickering. El proceso de descubrimiento en los grandes observatorios astronómicos es muy complicado y, además, muy posiblemente a Leavitt le faltasen conocimientos suficientes para aprovechar mucho más su hallazgo.[46] El problema real es, por un lado, que por entonces prácticamente todas las mujeres que trabajaban en astrofísica ocupaban puestos similares (en general, inferiores) al de Leavitt, y, por otro, que éxitos profesionales como éste no servían para ascender en la escala profesional, lo que tal vez habría permitido a Leavitt, o a otras colegas suyas, realizar aportaciones más importantes en el futuro.

De momento, lo que ocurrió fue que el esquema

introducido en gran escala por Pickering en Harvard fue seguido por otros observatorios. Entre 1875 y 1920, al menos 164 mujeres trabajaron como ayudantes en los principales observatorios astronómicos estadounidenses.[47]

Cecilia Payne-Gaposchkin

En 1923 se inauguró un programa de estudios graduados en astronomía en Harvard, con lo que se suplía una carencia que había constituido una de las principales debilidades del Observatorio de Harvard desde su creación. Del éxito del programa da idea el que entre 1930 y 1945, aproximadamente un tercio de los doctorados en astronomía logrados en Estados Unidos procedían de Harvard. Pues bien, la primera persona en obtener un doctorado en aquel programa fue una mujer, Cecilia Helena Payne-Gaposchkin (1900-1979), una inglesa que antes había estudiado en el Newnham College de Cambridge.

La tesis de Payne-Gaposchkin se tituló *Stellar Atmospheres* y fue publicada en 1925 como la *Harvard Observatory Monograph* número 1. Antes de 1925, la creencia general era que el Sol y las estrellas contenían los mismos elementos que la Tierra, en aproximadamente las mismas proporciones. Esta suposición se apoyaba en las observaciones espectroscópicas realizadas y era consistente con la creencia de que nuestro planeta se había formado a partir de materiales extraídos del Sol. A partir de 1920, los físicos M. N. Saha, R. H. Fowler y E. A. Milne utilizaron la teoría cuántica y la mecánica estadística para estimar las temperaturas de las atmósferas estelares a partir de los espectros observados. Cecilia Payne extendió sus teorías y demostró que podían utilizarse para estimar la composición química de la superficie de una estrella. Su resultado más sorprendente fue que las atmósferas estelares están compuestas fundamentalmente de hidrógeno y helio.

Tras completar su doctorado, y no pudiendo encontrar ningún trabajo relacionado con la astronomía en Inglaterra, Cecilia Payne permaneció en el Observatorio de Harvard.

En 1934 se casó con el astrónomo de origen ruso Sergei Gaposchkin, a quien Cecilia había ayudado a encontrar trabajo en Harvard. En 1956, y tras haber tenido tres hijos, Payne-Gaposchkin se convirtió en la primera mujer *full professor* de la historia de la Universidad de Harvard.

Siendo como son fieles, los datos precedentes no dan idea de las dificultades con que Cecilia Payne se enfrentó. Afortunadamente, ella misma nos dejó constancia de las mismas. Es una cita larga pero merece la pena:[48]

> Una mujer conoce la frustración de pertenecer a un grupo minoritario. Podemos no ser realmente una minoría, pero ciertamente que estamos en inferioridad de condiciones. Tempranas experiencias me habían enseñado que mi hermano era valorado por encima de mí. Su educación dictaba los movimientos de la familia. Debía ir a Oxford a cualquier precio. Si yo quería ir a Cambridge, debía apañármelas por mí misma. Pronto aprendí la lección de que un hombre podía escoger una profesión, mientras que una chica debía «aprender a mantenerse por sí sola». Presumiblemente, esto debía ser así hasta que encontrara un marido. Pero pronto vi que difícilmente yo podría aspirar a hacer eso, ya que no tenía dinero propio. Tal era el código social victoriano en el que crecí.
>
> En mi caso, el obstáculo real para casarme era que no me relacionaba con hombres en absoluto. Existía una ley no escrita en nuestra casa, según la cual si mi hermano traía a casa a algunos de sus amigos, sus hermanas debían aparecer lo menos posible. Esto era parte del código social de la escuela pública de chicos de la época, otro aspecto de la discriminación entre sexos.
>
> Una o dos veces me invitaron a un baile, ofrecido por algún amigo del colegio como una fiesta de despedida. Esto constituía una intensa agonía. No sabía bailar. Además, mi ropa me avergonzaba, ya que ésta había sido utilizada antes por la hija de un amigo rico, que nos la pasaba cuando ella ya no la quería. Todavía recuerdo el horror que sentí cuando supe que uno de mis compañeros de baile la conocía, y pensé con gran vergüenza que él reconocería probablemente el vestido que yo llevaba. Incluso cuando conversaba era un desastre. Un amigo de mi hermano, al que había intentado entretener, le dijo después: «¡Curioso! Una chica que *lee a Platón por placer!*». Sencillamente, no sabía cómo comportarme en un baile.

Las cosas no mejoraron cuando fui a Cambridge. Se segregaba a las mujeres en las clases. Incluso se las emparejaba en el laboratorio, tratándolas (¿lo había imaginado?) como estudiantes de segunda clase. Podía haber sido diferente si yo hubiese sido alegre y atractiva, y hubiese llevado bonitos vestidos. Pero era poco atractiva, cómicamente seria y agonizantemente tímida. El *demostrator* del laboratorio de física avanzada dijo a alguien (que amablemente me lo repitió) que yo era «lenta». No se me ocurrió protestar. ¡Podía ser ignorante y torpe, pero no *lenta*! Decidí no prestar más atención a lo que pudiese decir Henry Thirkill: simplemente, no se daba cuenta. Desgraciadamente para mí, él era uno de los examinadores finales del *Tripos*, y creo que fue responsable de colocarme en la segunda clase. Supe por rumores que el otro examinador, William Bragg, a quien yo adoraba, había querido situarme en un puesto más alto. Henry Thirkill me había retrasado...

La actitud hacia las mujeres que oprimió mi infancia y juventud era típica de la Inglaterra de la época. Cincuenta años no han cambiado mucho la situación. Aunque mi trabajo era bien conocido cuando tenía treinta años, estoy segura de que no habría tenido la menor oportunidad de obtener un puesto en Inglaterra entre el momento que fui a Harvard y aquel en que me jubilé en 1965... Aunque había ido a la universidad correcta, había estudiado el tema equivocado. Uno no podía llegar a ser astrónomo en Inglaterra sin haber obtenido un lugar en la Primera Clase en el *Mathematical Tripos*. Y, por supuesto, yo era una mujer. El Observatorio Real era administrado por el Almirantazgo. El temible H. H. Turner manifestó que cuando se le preguntó a un candidato para el puesto de ayudante principal en Greenwich qué pruebas había tenido que superar, replicó: «Entre otras cosas, tuve que subir por una cuerda». Yo habría fracasado en esa prueba; subir por cuerdas no ha sido nunca mi punto fuerte. La restricción al sexo masculino ya no domina el Observatorio Real, pero algo asfixia todavía a la astronomía en Inglaterra.

En este punto, Cecilia Payne pasaba a recordar cómo le fue en Estados Unidos:

Hacemos las cosas mejor en Estados Unidos. Incluso hace cincuenta años, una mujer podía realizar investigación astronómica y hacerse un nombre con sus publicaciones. Podía tener un puesto —sin un título, y mal pagada, es cierto— y

codearse de igual a igual con cualquier astrónomo del mundo. En mis primeros días en Harvard, todo aquel que era alguien (y muchos más, que iban a ser alguien) se relacionaba con los demás, discutía y fraternizaba. Fueron aquéllos unos días gloriosos. Llegamos a conocer a Lundmark, Milne y Unsöld, Hund, Carathéodory y diez Bruggencate. ¡De qué manera discutíamos, vagábamos por las calles y nos sentábamos hablando en los restaurantes hasta que el encargado apagaba, desesperado, las luces! Nos relacionábamos como iguales; nadie me trataba según mi sexo o mi juventud. Incluso, nadie pensó jamás en flirtear conmigo. Éramos científicos, éramos *scholars* (ninguna de estas palabras tiene género [sí en castellano]). En aquella atmósfera embriagadora una mujer no degeneraba en el abominable estereotipo de la *Femme savante*, esa combinación de consciente erudición y afectada timidez que sugiere: «Realmente no es *femenino* saber tanto como sé yo». Qué diferente de la actitud descrita por una de mis amigas inglesas: «Con mi educación, no puedo esperar casarme nunca». Sí, aquí hacemos las cosas mejor...

Pasé muchos años en Harvard, investigando y escribiendo en mis principales intereses, con el añadido de editar, que gradualmente tomó más y más de mi tiempo, y que de paso me enseñó mucho sobre la técnica de escribir. No tenía estatus oficial, el mío era tan pequeño como el de los estudiantes que suministraban las «horas de chicas» [*girl-hours*] en las que Shapley contaba sus gastos de investigación. Me pagaban tan poco que me avergonzaba admitirlo a mis conocidos de Inglaterra. Ellos pensaban que estaba forrándome de dinero en una tierra de millonarios. Pero tenía a mi disposición la colección de placas [fotográficas] de Harvard, podía utilizar sus telescopios (un dudoso favor éste, en el clima de Cambridge) y tenía la biblioteca en mis manos.

Llegó entonces la época en la que Shapley organizó el Departamento de Astronomía, y comenzó a atraer candidatos doctorales. El primero de estos estudiantes fue Frank Hogg, y (con o sin estatus) yo fui quien dirigió su investigación. Comenzaron las clases, de manera informal al principio, después más organizadamente, y por supuesto yo tuve que dar clase. El nuevo Departamento buscó un director, un catedrático. Yo podría haberlo sido; ¿quién conocía mejor los hilos? Pero fue «imposible»; la universidad nunca lo permitiría. Sólo unos pocos años antes, Theodore Lyman había rechazado aceptar a una mujer como candidata al Ph. D. [doctorado], y Shapley había superado de alguna manera la dificultad. Pero esta vez no

iba a ser así. No sé lo que intentó, pero me dijo que el presidente Lowell le había dicho que «Miss Payne no tendría un puesto en la universidad mientras él viviese». Acaso Shapley lo intentó. Pero mi estatus sin nombre continuó sin nombre. Se trajo a Harry Plaskett de Victoria para dirigir el nuevo Departamento...

No sentí envidia de él, aunque los estudiantes que me estaban asignados pronto transfirieron su lealtad a él. Lo siento, pero consideré que eran ellos los que perdían; a mí me dejaron más tiempo libre para investigar...

Solamente años después, cuando se llamó a Harry Plaskett a Oxford para que sucediera a H. H. Turner, sentí envidia de él. Por supuesto que no tenía derecho a aspirar a la cátedra Saviliana, pero sentí que yo habría sido un candidato tan cualificado como él. No por primera vez, pensé que había sido pasada por alto solamente por ser mujer.

Cuando Plaskett dejó Harvard se buscó un sucesor. Shapley me dijo en esa ocasión: «Lo que necesita este observatorio es un espectroscopista». Yo repliqué indignada que *yo* era una espectroscopista, aunque estaba siendo empujada en contra de mis deseos a la fotometría. Mi protesta no sirvió para nada: había que importar un espectroscopista. Se ofreció el puesto a Otto Struve, quien me contó muchos años después por qué lo rechazó. Shapley le dijo: «Miss Payne abandonará la espectroscopia», asegurándole de esta manera mano libre. Rechazó el puesto en aquellos términos. Tenía un noble y generoso corazón; fue uno de los gigantes de su tiempo. ¡Si sólo hubiese tenido la oportunidad de trabajar con él!

Fue entonces cuando se trajo a Harvard a Donald Menzel, después de que se hiciese un nombre en el Observatorio Lick. De nuevo se me preguntó, «¿cuánto me molestaría?» La base para el sistema «Divide y gobierna» se había sentado muchos años antes. No fue hasta muchos años después, una vez que Shapley se hubiese jubilado, que encontré que Menzel y yo podíamos formar una alianza, en lugar de existir en un estado de tregua armada. Esto fue una grave pérdida para mí, y acaso también para la ciencia...

Pasaron los años y Lowell ya no era presidente de la universidad. Con James Conant el estatus de las mujeres en el observatorio experimentó un cambio. Miss Canon era tan famosa como cualquier astrónomo en el mundo, y justamente. Durante muchos años había disfrutado del ambiguo título de «Conservador de fotografías astronómicas», que no tenía ningún estatus en la universidad. Ahora fue nombrada astrónoma, y yo

recibí el mismo título. Fue un paso adelante para mí, ya que ahora tenía un puesto, aunque todavía con un miserable salario. Mis obligaciones, investigación, clases, dirección de estudiantes, eran de hecho los de un catedrático, pero al menos ahora tenía un puesto en la universidad...

Otro lapso de años, otro presidente de la universidad, y llegó el momento de que Shapley se retirase de director del observatorio. Tras un angustioso período de indecisión, Donald Menzel le sucedió. Debo a Donald el avance que finalmente se me concedió. Las finanzas del observatorio habían constituido un secreto celosamente guardado, y cuando supo el salario que yo había estado recibiendo, me dijo que se vio sorprendido. Enseguida lo subió, y pronto lo dobló. Más aún, triunfó allí donde Shapley había fracasado (aunque nunca sabré cuán duramente lo había intentado realmente): fui nombrada *Phillips professor* y *chairman* [directora] del Departamento de Astronomía. Tal fue el generoso tratamiento que recibí del hombre del que había sido separada sistemáticamente durante muchos años. Él no dejó que mi sexo, o mi menos que cooperativa actitud, se interpusiese en mi camino.

Cecilia Payne-Gaposchkin terminó encontrando un lugar de trabajo permanente en el Observatorio de Harvard, pero hay que tener en cuenta que detrás de ella tenía una larga historia que había hecho que las mujeres constituyesen una figura familiar en astrofísica. Aun así, tardó treinta y un años en obtener una cátedra. En general, y cuando menos hasta bien pasada la Segunda Guerra Mundial, los departamentos de ciencias de las universidades fueron reacios a admitir dentro de su personal a mujeres. Subyacía la idea de que era preferible un hombre, y, naturalmente, casi siempre, en un lugar o en otro, había un hombre disponible.

La oposición a la entrada de las mujeres en departamentos universitarios se manifestó de formas muy diferentes. A veces de manera abierta, pero con mayor frecuencia de un modo más solapado. Un buen ejemplo en este sentido es la carta que Robert Millikan, acaso el científico más influyente en los años veinte y treinta en Estados Unidos,[49] envió al presidente de Duke University (Durham, Carolina del Norte), W. P. Few, respondiendo,

cierto es, a una solicitud de consejo de éste a raíz de haber contratado (pagando la Rockefeller Foundation parte del salario) a una física emigrada de Alemania: Hertha D. Sponer.[50] El 24 de junio de 1936, Millikan enviaba la siguiente carta a Few:[51]

> Querido presidente Few:
>
> A duras penas sé cómo contestar a su carta del 11 de junio, pero como me pide una manifestación confidencial, me agradará decir unas palabras acerca de cómo me comportaría yo si quisiese formar un Departamento de Física lo más fuerte posible en Duke University.
>
> Yo introduciría en el departamento un número de hombres jóvenes de la mayor habilidad que pudiese encontrar, y entonces les daría toda oportunidad posible para elevarse hacia posiciones de influencia dentro y de eminencia fuera. En vista del hecho que al menos el 95 por 100 de las mentes más capaces que están yendo en la actualidad a la física son hombres —de hecho, no recuerdo que figure ninguna mujer entre los varios cientos de National Research *fellows* de física que han sido elegidos en los últimos diez años— me parece que mis posibilidades de formar un departamento muy potente serían mayores si realizara mis elecciones entre los National Research *fellows* más brillantes, u otros hombres jóvenes igualmente sobresalientes que por una razón u otra no hayan sido candidatos a National Research *fellowships* [becas]. En conjunto, las mujeres han realizado trabajos sobresalientes y se encuentran entre los principales científicos en el campo de la biología; y algo en el campo de la química, e incluso en la astronomía, pero en nuestro país no han surgido todavía mujeres físicas sobresalientes. En Europa, Fraülein Meitner de Berlín y Madame Curie de París se encuentran entre los principales físicos del mundo. Yo esperaría, por consiguiente, obtener más influencia, así como una mayor rentabilidad a mi inversión si al introducir sangre joven en el Departamento de Física seleccionase uno o dos de los más brillantes hombres jóvenes, que si ocupase una de las vacantes con una mujer. Podría cambiar de opinión si conociese otras mujeres con los logros y que hayan alcanzado la eminencia de Fraülein Meitner. No conozco ninguna otra mujer viva que se le pueda comparar o que tenga la posibilidad de llegar a tales logros en el futuro.
>
> Asimismo, en el funcionamiento interno de un Departamento de Física de una gran universidad, yo esperaría que los más

> brillantes y capaces jóvenes hombres se viesen atraídos al departamento de graduados por el carácter de los *hombres*[52] de la plantilla, más que por el carácter de las mujeres.
>
> Estas consideraciones se refieren más al nivel de graduados que al de no graduados. En una institución coeducacional en la que existan muchas mujeres estudiantes es, indudablemente, deseable también tener, con fines pedagógicos, instructores que sean mujeres, pero sólo en casos muy excepcionales pensaría yo que el avance del trabajo graduado se vería promocionado de igual manera por una mujer que por un hombre.

El ejemplo de Millikan y Hertha Sponer es uno entre muchos. De hecho, cabría imaginar —aunque la carta anterior hace realmente difíciles tales suposiciones— que en Millikan influyó el que Sponer fuese una inmigrante que podía estar quitando el puesto a jóvenes y prometedores científicos estadounidenses.[53] Existen, sin embargo, suficientes ejemplos —fuera ya de la astrofísica— de científicas que mostraron, *en su propia patria*, auténtico genio y que no obstante no lograron ascender según merecían en la jerarquía académica.

La dificultad de emplear un puesto fijo: Emmy Noether

Uno de esos casos fue Emmy Noether (1882-1935), la gran matemática alemana, sucesora de otras matemáticas ilustres anteriores a ella, como Sophie Germain (1776-1831) o Sofia Kovalevskaya (1850-1891). Después de asistir durante ocho años al Städtischen Höheren Töchterschule (Escuela Municipal de Educación Superior para Hijas) de Erlangen, donde su padre, Max, era un distinguido catedrático de Matemáticas de la universidad, Emmy pasó con excelentes calificaciones los exámenes del Estado de Baviera para maestros de inglés y francés. Con ello estaba cualificada para enseñar idiomas extranjeros en cualquier institución educativa femenina. Pero a Emmy Noether esto no le bastaba; quería estudiar en la universidad. Tal vez por sus relaciones familiares pudo lograrlo en una universidad (Erlangen) cuyo Senado había

declarado en 1898 que la admisión de mujeres estudiantes «destrozaría todo orden académico». De hecho, de entrada Noether únicamente obtuvo permiso para asistir a las clases, no siéndole posible examinarse; esto solamente pudo hacerlo a partir de 1903, cuando la universidad cambió sus estatutos (de los 985 compañeros de Emmy en el semestre de invierno de 1900, únicamente una era mujer). El 13 de diciembre de 1907 obtenía el grado de doctora con una tesis titulada *Über die Bildung des Formensystems der törnaren biquadratischen Form* (*Sobre sistemas completos de invariantes para formas ternarias bicuadráticas*) por la que recibió la calificación de *summa cum laude*; su mentor fue Paul Gordan.[54]

Durante los años siguientes trabajó en el Instituto Matemático de Erlangen sin recibir ningún salario; ayudaba a su padre, ya mayor, y desarrollaba sus propios proyectos, especialmente en el campo de la teoría de los invariantes algebraicos. En 1915 se trasladó a Gotinga, solicitada por David Hilbert y Felix Klein, las grandes figuras de la matemática germana, con los que colaboró. Especialmente célebre es su trabajo (conocido como teorema de Noether) de 1918 sobre las relaciones entre invariancias y leyes de conservación, que surgió de los intereses de Hilbert en relatividad general.[55]

Albert Einstein, por cierto, recibió con entusiasmo estos trabajos de Noether; en este sentido, escribía a Hilbert el 24 de mayo de 1918:[56] «Ayer recibí un artículo muy interesante de la Srta. Noether sobre la generación de invariantes. Me impresiona que estas cosas puedan ser tratadas desde un punto de vista tan general». Y añadía: «No habría hecho daño a la vieja guardia de Gotinga que se hubiese enviado a la Srta. Noether para que les diese clase». Unos meses más tarde, el 27 de diciembre, tras recibir el segundo de los artículos de Noether, repetía su admiración por ella, que como mujer era rechazada por los claustros universitarios, en una carta a Felix Klein:[57] «Lo que me incita a escribirle hoy es un asunto diferente. Al recibir el nuevo artículo de la Srta. Noether, de nuevo he sentido la

gran injusticia que es el que le sea negada la *venia legendi*. Yo apoyaría con fuerza tomar medidas de presión en el Ministerio.

A pesar de contar con tan espléndidos patrones, los esfuerzos realizados por conseguir un puesto académico para Emmy en Gotinga fracasaron. Ni siquiera pudo lograr pasar la *Habilitation*, ya que según la *Privatdozentenverordnung* de 1908, sólo podía ser concedida a candidatos masculinos (una protesta posterior ante el Ministerio de Cultura fue rechazada). Según Hermann Weyl, fueron los historiadores y los filólogos los que más se opusieron al posible nombramiento.[58]

Afortunadamente, la Primera Guerra Mundial cambió muchas cosas, y una de ellas fue el que las mujeres pudiesen acceder a puestos que hasta entonces les estaban vetados. Así, en junio de 1919 Emmy Noether superaba la última prueba (dictar una conferencia) de la *Habilitation.* A partir de entonces ya pudo impartir cursos en la universidad... y recibir una parte de la matrícula que pagaban sus estudiantes. En 1922 fue nombrada *nichtbeamteter ausserordentlicher professor,* lo que puede sonar muy atractivo, pero que en realidad no era sino un mero título, sin obligaciones ni salario. Lo único que obtuvo fue un modesto contrato para enseñar álgebra, que llevaba asociado un pequeño salario. En esa situación permaneció hasta 1933. Simultáneamente, no obstante, su carrera como matemática creativa progresaba. He aquí cómo vio Hermann Weyl, en el obituario antes citado, aquella intrínsecamente antagónica situación:

> Cuando, en 1930, obtuve un puesto permanente en Gotinga, con el mayor interés intenté del Ministerio conseguir para Emmy un puesto mejor, ya que me avergonzaba ocupar una posición por encima de ella, sabiendo como sabía que como matemática era superior a mí en muchos aspectos. No tuve éxito, ni tampoco logré nada con un intento de que fuese nombrada miembro de la Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften (Academia de Ciencias de Gotinga). Tradición, prejuicio, consideraciones externas, pesaron en contra de sus méritos y grandeza científica, que por entonces nadie negaba.

> Durante mis años en Gotinga, 1930-1933, ella fue sin duda el centro de actividad matemática más fuerte, considerando tanto la fertilidad de su programa de investigación científica como su influencia sobre un amplio círculo de discípulos.

Con la llegada al poder de los nazis en enero de 1933 la situación se hizo aún peor para Emmy, que a su condición de mujer añadía la de judía. En abril, se le retiró tanto la *venia legendi* como el contrato (salario incluido, naturalmente). En julio, dos *colleges* femeninos, Bryn Mawr, en Pensilvania, Estados Unidos, y Sommerville, en Oxford, se interesaron por conseguir sus servicios. Finalmente, con la ayuda financiera de la Rockefeller Foundation, Emmy Noether aceptaba un puesto de un año académico de duración en Bryn Mawr College. En octubre embarcaba hacia el Nuevo Mundo.

No tuvo suerte, sin embargo, la matemática germana en esta nueva fase de su vida. Académicamente las cosas le fueron bien: a partir de febrero de 1934 comenzó a dar clases semanales en Princeton, no lejos de Bryn Mawr, donde por otra parte se le renovó por un año más su contrato. El 14 de abril de 1935, Emmy Noether fallecía en el Bryn Mawr Hospital como consecuencia de una operación, en principio, no demasiado grave.

Mujeres y ciencia en el siglo XX

A lo largo del siglo XX mejoró notablemente (aunque con lentitud y muy desigualmente) la situación de las mujeres en diversos órdenes, el de la ciencia entre ellos. Como muestra de que así ha sido, de que han podido acceder más a la profesión científica, mencionaré a continuación algunos nombres de científicas distinguidas que trabajaron en el siglo XX (algunas de las que cito también lo hacen en el XXI, y otras lo hicieron en el XIX).

Sin ninguna pretensión de completitud, he aquí algunas. Astrofísicas como: Margaret Burbidge (1919), que ha destacado en el estudio de los contenidos metálicos de

las estrellas, rotación de galaxias y quásares, y ha llegado a ser presidenta de la American Astronomical Society entre 1976 y 1978, catedrática en la Universidad de California en San Diego y directora (1979-1988) de su Center for Astrophysics and Space Sciences; Vera Rubin (1928), que junto a W. Kent Ford descubrió la existencia de la denominada «materia oscura», y Jocelyn Bell Burnell (1943), la radioastrónoma natural de Irlanda del Norte, que descubrió los cuatro primeros pulsares cuando tenía veinticuatro años, mientras hacía su tesis doctoral, bajo la dirección de Anthony Hewis, que fue quien recibió el premio Nobel de Física de 1974 por el descubrimiento. Las físicas Marie Curie (1867-1934), la primera persona en obtener dos premios Nobel (el primero, compartido con Henri Becquerel y su esposo, Pierre Curie, de Física en 1903, y el segundo, de Química, en 1910), su hija Irène Joliot-Curie (1897-1956; premio Nobel de Química en 1935, junto a su marido Frédéric Joliot); Tatiana Ehrenfest-Afanaseva (1876-1964), cuyos trabajos en los fundamentos de la física estadística quedaron oscurecidos por haberlos producido en colaboración con su esposo, el también físico y catedrático de la Universidad de Leiden Paul Ehrenfest (estoy pensando sobre todo en la excepcional monografía *Begriffliche Grundlagen der statischen Auffassung in der Mechanik* [1911]); Lise Meitner (1878-1968), a la que, como veremos en otro capítulo, se negó mucha de la parte que mereció recibir en el descubrimiento de la fisión del uranio; Maria Goeppert-Mayer (1906-1972); premio Nobel de Física en 1963, junto a Eugene Wigner y Hans Jensen, por sus descubrimientos en la estructura de capas atómica; Rosalind Franklin (1920-1958), o Chien-Shiung Wu (1912-1997).

Me detendré un momento en el caso de Wu. Nacida en China, estudió allí física. En 1936, sin embargo, abandonó su país para obtener una formación avanzada en física en Estados Unidos, donde se instaló; desarrolló una carrera distinguida en física nuclear y llegó a ocupar, a partir de 1958 y después de otros trabajos (por ejemplo, en el

Proyecto Manhattan, donde introdujo un proceso de difusión gaseosa para separar uranio-235 de uranio-238), una cátedra de Física en la Universidad de Columbia, en Nueva York. El trabajo que dio más fama a Wu lo produjo en 1956-1957, cuando comprobó experimentalmente (en la denominada desintegración beta) que se verificaba la posibilidad que poco antes habían planteado desde el punto de vista teórico dos físicos, Tsung-Dao Lee, también de Columbia, y Chen Ning Yang, del Institute for Advanced Study de Princeton: que una propiedad llamada «paridad» (invariancia con respecto a la inversión de las coordenadas) no se conserva en las interacciones débiles. Se trató, evidentemente, de una investigación notable, que reportó a Wu honores importantes (aunque no el compartir el premio Nobel de Física que Lee y Yang obtuvieron en 1957), incluyendo uno insólito para una mujer: la presidencia en 1975 de la American Physical Society. Fue, en efecto, la primera mujer que accedió a la presidencia de esta institución, fundada en 1899 y de la que en la actualidad forman parte alrededor de 40.000 físicos de todo el mundo.

Continuando con mi lista, tenemos a la antropóloga Margaret Mead (1901-1978), autora de obras tan fundamentales como *Sexo y temperamento en las sociedades primitivas* (1935), a la paleontóloga y antropóloga Mary Leaky (1913-1996), y a la zoóloga Rachel Carson (1907-1964), que nos dejó ese conmovedor monumento de racionalidad y análisis científico sobre la naturaleza que es su libro *Silent Spring* (*Primavera silenciosa*; 1962), que tanto ha hecho para que se extiendan los sentimientos a favor de la conservación de la naturaleza (hablo de él en el epílogo-apéndice de este libro). También a las etólogas Dian Fossey (1932-1985), que se dejó la vida, literalmente, en el estudio y defensa de los gorilas, y a Jane Goodall (1934), la gran experta mundial en chimpancés y esforzada defensora de los animales. Entre las biólogas, bioquímicas o médicas figuran Gerty Cori (1896-1957), premio Nobel de Medicina en 1947 (compartido con su marido, Carl, y Bernardo Houssay), Barbara McClintock (1902-1992), premio Nobel

de Medicina en 1983, la italiana, afincada posteriormente en Estados Unidos, Rita Levi-Montalcini (1909), premio Nobel de Medicina en 1986, por su descubrimiento del factor de crecimiento nervioso, y persona de una extraordinaria talla moral, como se puede comprobar leyendo su maravillosa autobiografía, *Elogio de la imperfección* (1988), Dorothy Hodgkin Crowfoot (1910-1994), premio Nobel de Química en 1964, Gertrude Elion (1918-1999), premio Nobel de Medicina en 1988, Rosalyn Yalow (1921), premio Nobel de Medicina en 1977 por el desarrollo de los ensayos radioinmunológicos de las hormonas péptidas, o Lynn Margulis (1938), especialista en el estudio de los orígenes evolutivos de la vida y autora de éxito de libros de divulgación científica.

¿IGUALDAD REAL?

Es cierto que la situación de las mujeres en la ciencia ha mejorado, pero ¿existe igualdad con los hombres? La respuesta —aquí como en prácticamente todos los ámbitos de la realidad— es que no. Veamos, en este sentido, algunos datos, comenzando por los porcentajes en el mundo universitario:[59]

PORCENTAJE (TANTOS POR 100) DE MUJERES EN EL PROFESORADO UNIVERSITARIO

País	*Ayudantes*	*Titulares*
Alemania	1998	1998
Australia	1997	1997
Dinamarca	1997	1997
España	1998	1998
Estados Unidos	1998	1998
Francia	1998	1998
Israel	1998	1998
Italia	1997	1997
Portugal	1998	1998
Reino Unido	1997	1997
Suecia	1997-8	1997-8
Suiza	1996	1996
Turquía	1996	1996

Es evidente que estos datos muestran no sólo que hay menos mujeres que hombres en el profesorado universitario, sino que según se avanza en la escala (jerarquía) el número de mujeres disminuye, sólo supera el 20 por 100 en, sorprendentemente, Turquía.

Ese hecho, el que las dificultades aumentan según se progresa en la carrera, constituye el gran problema para una mayor integración. El mundo (las naciones avanzadas) actual es más justo, permisivo o equilibrado, acaso más cínico (que cada uno utilice el término que considere oportuno), en lo referente a las oportunidades educativas que se ofrecen a las mujeres. Ya no vivimos, afortunadamente, en épocas en las que les estaba vetado el acceso, por ejemplo, a la universidad, y ahora las alumnas inundan casi todos los centros de enseñanza superior de muchos países, pero no basta con esto, ¿qué pasa después?

Veamos un ejemplo concreto, pero significativo. El de la física en Estados Unidos. Los datos disponibles correspondientes a finales de la década de 1990 muestran que en el instituto (*high school*) los porcentajes no son muy diferentes entre chicos y chicas: aproximadamente 63 por 100 para ellos frente a 47 para ellas.[60] Pero a partir de ese momento la situación cambia dramáticamente: durante el período que va del instituto a la graduación (licenciatura, grado de *bachelor*) en la universidad los porcentajes pasan a ser de 81 por 100 (licenciados en física) para los hombres y 19 por 100 para las mujeres. El gráfico correspondiente es como unas tijeras que se abren (por eso se denomina precisamente *scissors diagram*, «diagrama de tijera»). Continúa abriéndose entre la graduación y el doctorado (el 89 por 100 de los doctorados en física son para hombres y el 11 por 100 para mujeres), aunque la pendiente es menor. De hecho, mejora un tanto entre el doctorado y el acceso al puesto de *assistant professor* (profesor ayudante): 82 por 100 para hombres, 18 para mujeres, aunque se trata de una mejora efímera, ya que a partir de ese momento la pendiente vuelve a manifestarse favorable a los varones, «abriéndose más las tijeras», una tendencia que continúa

entre *associate professor* (profesor titular) y *full professor* (catedrático): 90/10 por 100 (hombres/mujeres) en titulares, 96/4 por 100 en catedráticos.

Esto es lo que ocurre en la física de la nación que no es demasiado arriesgado decir que ha sido la que más ha contribuido a la física mundial a partir del final de la Segunda Guerra Mundial. Y recordemos que la física ha protagonizado las dos primeras grandes revoluciones científicas del siglo XX, la relativista y la cuántica, revoluciones que cambiaron, literalmente, el mundo.

Otro ejemplo interesante es el de las mujeres en ingeniería, una profesión con amplia base científica pero también más abierta al mundo industrial y económico. ¿Qué les ocurre ahí? Tal vez su situación sea mejor, en la medida que —se podría pensar— en el mundo de los negocios lo que prima son la rentabilidad, no la historia y prejuicios. Por supuesto que no es éste el caso, como muestran los siguientes datos, de nuevo relativos a Estados Unidos, en el que la ingeniería constituye una actividad particularmente importante.[61]

Considerando el número de estudiantes matriculados, tenemos que en 1979 sólo el 12,1 por 100 eran mujeres (entre un total de 44.431), mientras que en 1996 era el 19 por 100 (67.618) y en 1998 la proporción había ascendido al 19,7 por 100 (72.393). En cuanto a graduados (aquellos que han obtenido el correspondiente título), las cifras son: 1979, 91,1 por 100 mujeres (4.881); 1996, 17,9 por 100 (11.316). Estudiantes graduados: 1977, 5,4 mujeres (3.700); 1996, 18,5 por 100 (18.715). Doctorados en ingeniería: 1975, 1,7 por 100 mujeres (52); 1996, 12,3 por 100 (776). Y si abandonamos el cálido (sobre todo para los varones) universo de las Escuelas de Ingeniería, y pasamos al del mercado de trabajo, la situación no cambia: ingenieros empleados: 1983, 5,8 por 100 mujeres (91.176 mujeres frente a 1.480.824 hombres); 1999, 10,6 por 100 (220.586 frente a 1.860.414). Y ¿cuánto ganan unos y otros?

SALARIOS MEDIOS DE INGENIEROS (en dólares)

(por años después de haberse graduado)

Años	*Hombres*	*Mujeres*
Menos de 5 años	45.000	42.000
Entre 5 y 9	54.000	52.000
10-14	60.000	55.000
15-19	65.000	60.000
20-24	68.000	60.000
25-29	70.000	60.000

Independientemente de cómo fue el pasado, el hecho es que en la actualidad las mujeres lo tienen más difícil en ciencia (tomado en su conjunto, sin distinguir entre disciplinas) e ingeniería, al igual que en el conjunto del profesorado universitario, y ello, parece, no importa de qué país se trate, más avanzado política y culturalmente o menos.

Teniendo en cuenta todo lo dicho hasta el momento, los datos que he manejado, se podría concluir que la ciencia sí tiene sexo. Un sexo edificado no a partir de ninguna base genética (por lo menos nadie lo ha demostrado, que yo sepa), que sea consecuencia, por ejemplo, del hecho de que la pareja 23 de nuestros cromosomas está formada en los hombres por un cromosoma X y otro Y, mientras que en las mujeres ambos son X, sino que es fruto de la brutalidad y de la vulgaridad: de relaciones de poder (de ahí lo de brutalidad), en primer lugar, del control que históricamente han ejercido los varones en la sociedad, y por otra parte, de la incapacidad —de la vulgaridad— manifiesta de la sociedad (y en este punto la responsabilidad no recae únicamente en los hombres) de trascender una situación cuya mayor justificación es la tradición, el que durante siglos «ha sido siempre así».

EPÍLOGO: ¿DIFERENCIAS BIOLÓGICAS?

No ignoro que son bastantes los que sostienen que detrás de las diferencias entre hombres y mujeres siempre está, de una forma u otra, la diferente relación de ambos

sexos con la reproducción, y que esa diferencia repercute en algunos rasgos de la personalidad (entendida como «media de personalidad») de ambos. Los argumentos de que si las mujeres son más emotivas, los hombres más racionales, y cosas por el estilo.

Entender las diferencias entre hombres y mujeres ha sido uno de los temas frecuentes en el mundo del denominado «determinismo biológico». Entre los múltiples recursos utilizados figura el hecho, fisiológico, de que por la sangre de los varones circula mayor volumen de la hormona testosterona que por la de las mujeres. Esta innegable realidad se ha esgrimido para proclamar que los hombres son congénitamente más agresivos que las mujeres, lo que, a su vez, ha servido como base para diferentes conclusiones sobre sus respectivos papeles sociales.62 Ahora bien, ni siquiera la pretendida base científica para relacionar niveles de testosterona con agresividad está clara, a pesar de ejemplos evidentes como la pérdida de bravura de los toros castrados. En los seres humanos la castración reduce o elimina la pulsión y potencia sexual, pero tiene escasos o nulos efectos disuasorios sobre la agresividad. Con el desarrollo de la corteza cerebral, las influencias hormonales sobre el comportamiento de los primates no se pierden, pero pueden ser sustituidas. Como recordó el antropólogo Marvin Harris, las mujeres pueden aprender a ser más agresivas que los hombres si las exigencias de la vida social reclamaran papeles sexuales agresivos para las mujeres y comportamiento más pasivos para los varones.63

Los argumentos en contra de las posibilidades de las mujeres en lo que al análisis racional, científico, se refiere pueden ser de muy diverso tipo. Así, repasando la literatura, encontré un artículo titulado «Cerebro de varón y cerebro de mujer», de Doreen Kimura, publicado en la muy respetable revista de carácter general *Scientific American*, de la que extraigo los siguientes pasajes:64

> Las principales diferencias que marca el sexo en la función intelectual parecen residir en los modelos de capacidad y no en

el nivel global de inteligencia (el coeficiente intelectual, CI)...

Por término medio, los hombres realizan mejor que las mujeres determinadas tareas espaciales; en particular, las aventajan en pruebas en las que el sujeto ha de imaginarse el giro o cualquiera otra manipulación de un objeto. Son mejores que ellas en las pruebas de razonamiento matemático y en el correcto recorrido de una ruta; consiguen también mayor precisión en pruebas de habilidades motoras dirigidas a blancos, esto es, en guiar o interceptar proyectiles.

Por su parte, las mujeres tienden a superar a los hombres en velocidad perceptiva, cuando se trata de identificar rápidamente objetos emparejados. Poseen una mayor fluidez verbal, en la que se incluye la capacidad de encontrar palabras que empiecen con una letra dada o que cumplan alguna otra condición. Les ganan también en cálculo aritmético y en recordar los detalles singulares de una ruta. Además, son más rápidas en ciertas tareas manuales de precisión, como la de colocar clavijas en determinados orificios de una tabla.

Supongamos que estas caracterizaciones son ciertas, ¿nos sirven de algo para entender la mejor o peor disposición de hombres y mujeres con respecto a la actividad científica? Francamente, me parece que no. En primer lugar, no está claro lo que es en última instancia la ciencia. O más bien, para decirlo en positivo, sabemos que los procesos de construcción, de creatividad, científica no responden a un solo patrón. Una mejor capacidad de percepción espacial puede ayudar en algunos campos científicos (en la cristalografía y algunas ramas de la física de la materia condensada, por ejemplo, disciplina esta última, por cierto, en la que no faltan las mujeres), pero no en muchas otras. El razonamiento matemático es importante para la investigación científica, pero no está claro qué se quiere decir con semejante expresión: ¿habilidad para construir o manipular estructuras matemáticas formales? Aceptemos por un momento que quiera significar esto. Bien, existen ejemplos de grandes científicos (dejemos a los matemáticos al margen, por razones obvias) que se beneficiaron mucho de poseer una disposición de este tipo: Isaac Newton, a la cabeza de todos, pero también otros como Pierre-Simon Laplace, Herman

von Helmholtz, Lord Kelvin, James Clerk Maxwell, Max Born o Paul Dirac. Pero no ocurrió esto en modo alguno con muchos otros, no menos, algunos más, grandes que los anteriores: Michael Faraday, casi un analfabeto matemático, es el ejemplo más notorio, pero también se puede mencionar a Charles Darwin, que no por no ser físico fue un científico menos grande (la física, casi da vergüenza tener que recordar semejante obviedad, no es la única ciencia), a Ernest Rutherford, a multitud de químicos, Justus von Liebig o Robert Bunsen, por ejemplo (no Antoine-Laurent de Lavoisier); incluso a Albert Einstein, al Einstein que creó las teorías especial y general de la relatividad explotando de manera absolutamente maravillosa dos «experimentos mentales»: el de qué vería un observador si se subiese a un rayo de luz, esto es, a una onda electromagnética, y el de los dos ascensores, uno en caída libre y otro en las inmediaciones de un campo gravitacional, que le sirvió para formular el denominado «principio de equivalencia».

Y si de diferencias en el «sentido» de racionalidad (¿existe semejante cosa?) se trata, sabemos, por supuesto, que la racionalidad en la ciencia es importante, básica, sí, pero también lo son, en los casos que más admiramos, la intuición o ciertos tipos de sensibilidad. Sin olvidar la importancia de poseer una gran capacidad de tenacidad, de mantener durante períodos prolongados la atención en un problema, pero en este punto los estereotipos de diferencias entre sexos ya no suelen apoyar, creo, que las mujeres son menos tenaces que los hombres. Por otra parte, Kimura dice también que «las mujeres tienden a superar a los hombres en velocidad perceptiva, cuando se trata de identificar rápidamente objetos emparejados». Pero ¿no es uno de los objetivos de la investigación científica identificar relaciones?

La grandeza y creatividad científica, en resumen, poseen muy diversas cunas. Además, la grandeza, la creatividad son infrecuentes, no tienen que ver con medias y porcentajes, así que bien pueden darse, indistintamente,

tanto en hombres como en mujeres. Y no sólo la grandeza, también, nada más y nada menos, la competencia profesional (he recurrido a ejemplos de «grandes», porque constituyen el caso extremo, más carismático y, en este sentido, fácil de comprender, pero el/la científico/a «normal» se puede entender como «un grande pequeñito»).

Supongamos, de todas maneras, en último lugar, para explorar más avenidas de pensamiento, más posibilidades, incluso las más peregrinas, que fuese cierto que algunas de las características biológicas de las mujeres las dificultan para desarrollar una actividad científica comparable a la de los hombres. Mejor, que las *han dificultado* hasta la fecha: ¿tiene que continuar siendo así? ¿Es que no es una de las características de nuestro tiempo cómo estamos interviniendo en nuestra propia evolución como especie, desarrollando unas facultades y anquilosando otras? El futuro está, no lo olvidemos, abierto. Y también, aunque tengamos menos margen de actuación, el presente. Contribuyamos, también en la ciencia —que no sufrirá con ello, sino todo lo contrario— a que hombres y mujeres tengan no sólo los mismos derechos teóricos, sino las mismas posibilidades reales. Lo contrario constituye una injusticia, una gran, profunda, histórica y moral, injusticia. Y como todas las injusticias, con ser esto malo, lo peor no es la violación de un concepto, la idea de justicia y equidad, sino toda la miseria, embrutecimiento forzado y drama que produce.

En *La falsa medida del hombre*, Stephen Jay Gould escribió unas frases que se aplican muy bien a las dificultades, a las marginaciones con que se han encontrado históricamente las mujeres:[65] «Pasamos una sola vez por este mundo. Pocas tragedias pueden ser más vastas que la atrofia de la vida; pocas injusticias más profundas que la de negar una oportunidad de competir, o incluso esperar, mediante la imposición de un límite externo, que se intenta hacer pasar por interno».

Capítulo 6

DE LOS RAYOS X A LA «GRAN CIENCIA»

En el capítulo 2 vimos cómo los avances llevados a cabo durante el siglo XIX en la química orgánica y en la física de la electricidad repercutieron profundamente en la vida socioeconómica internacional. El siglo XX también fue testigo de la capacidad socioeconómica de la ciencia, aunque las mayores novedades tanto desde el punto de vista puramente científico como, en buena medida y durante la mayor parte de la centuria, del social y económico procedieron de la física del microcosmos, de la física cuántica. Las derivaciones de esa física, que ha modificado radicalmente nuestra comprensión de la naturaleza, penetraron —y continúan penetrando— en prácticamente todos los niveles de lo que a veces se denomina «tejido social»; en la vida diaria, en la industria, en la política. Dicho de otra manera: sin esas «derivaciones», la historia del siglo XX habría sido muy diferente.[1]

Por consiguiente, antes de adentrarnos en otros temas, es obligado conocer algo de cómo se desarrolló, desde un punto de vista predominantemente internalista, de la historia de las ideas, esa física cuántica. Obviamente, esbozar siquiera su historia requeriría de por sí todo un libro, así que mi intención en este capítulo será únicamente la de introducir con pocos detalles los inicios de esa historia.[2] Tras dedicar algunos comentarios a los rayos catódicos y X y a la radiactividad, abordaré el modelo atómico propuesto en 1911 por Ernest Rutherford. Como se sabe, este modelo fue esencial para el que poco después desarrolló Niels Bohr. Ahora bien, para entender mejor la contribución del físico danés será preciso referirse antes a

las discontinuidades cuánticas introducidas en 1900 y 1905 por Max Planck y Albert Einstein, respectivamente. Una vez cumplido semejante programa, y después de interesarnos por un tema de especial interés en una obra como la presente, la difracción de rayos X, ya estaremos en condiciones de apreciar la novedad conceptual que aportó la mecánica cuántica formulada en 1925-1926, la herramienta teórica que permitiría que se estableciese una nueva subdisciplina: la física del estado sólido (posteriormente más conocida como «física de la materia condensada»), la responsable de multitud de procesos socioeconómicos durante el siglo XX. Y con esa herramienta podremos, además, introducirnos en el mundo de la *Gran Ciencia* a través de los aceleradores de partículas que comenzó a fabricar en Berkeley Ernest Lawrence.

Nuevas y misteriosas radiaciones: rayos catódicos y rayos X

Lo que hoy denominamos «física cuántica» surgió de un largo y complicado proceso, guiado tanto por desarrollos teóricos como por observaciones y mediciones experimentales. Pocas veces en la historia de la física se ha dado un caso parecido en el que teoría y experiencia se hayan interrelacionado de una forma tan fructífera y novedosa. Aunque podríamos iniciar su historia con los trabajos sobre espectroscopia de Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) y Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) en 1860 y la introducción por parte del primero de la noción de «cuerpo negro», para los propósitos del presente libro es mejor considerar como primer eslabón de la larga cadena que llevaría a la formulación de la mecánica cuántica en 1925-1926 el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), con el que se abrió una nueva ventana a la naturaleza física, ventana que muy pronto se ensancharía con la radiactividad.[3] Sin embargo, incluso esta simplificada reconstrucción, que deja fuera a Kirchhoff y Bunsen, se aleja en otro apartado importante de la historia real. No es posible, en efecto, pensar que

Röntgen pudiese haber llevado a cabo su trascendental descubrimiento sin los avances previos en la ciencia de la electricidad. Al fin y al cabo lo que Röntgen estaba haciendo cuando se encontró con la nueva y misteriosa radiación era experimentar con descargas eléctricas en tubos en los que se había hecho el vacío. Por otra parte, también hay que recordar que el desarrollo de la física cuántica no se puede entender, en su aspecto teórico, sin la física estadística, cuyos cimientos fueron establecidos por James Clerk Maxwell y, sobre todo, por Ludwig Boltzmann (1844-1906), a quien se debe la teoría estadística de la entropía que Max Planck utilizaría en 1900 para introducir la cuantización de la energía, mientras intentaba dar una explicación teórica de la ley de radiación del cuerpo negro que él mismo había hallado de manera semiempírica poco antes, y a la que ya me referí de pasada en el capítulo 2 al hablar del Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Pero pasemos ya a los rayos X. Éstos fueron observados por primera vez por Röntgen, director del Instituto de Física de la Universidad de Wurzburgo, el 8 de noviembre de 1895. Inmediatamente después de darse cuenta de que había detectado una nueva radiación, se dedicó, durante seis semanas, a estudiar sus misteriosas propiedades de manera más precisa. El 28 de diciembre presentaba su célebre primera memoria («Sobre una nueva clase de rayos») ante la Sociedad Física y Médica de Wurzburgo.[4] El 1 de enero de 1896 ya disponía de separatas, que envió, junto a copias de sus famosas fotografías, en especial la de la mano de su esposa (tomada el 22 de diciembre), a los principales científicos europeos.

Uno de los afortunados fue Arthur Schuster, director del Laboratorio de Física de la Universidad de Manchester. Tanto en su autobiografía, como en un extremadamente interesante libro que recoge cuatro conferencias que dictó en la Universidad de Calcuta en marzo de 1908, Schuster narró cómo supo del descubrimiento de Röntgen.[5] Veamos lo que dijo en la ciudad india:[6]

> Durante los primeros días de enero de 1896, volvía a

> Manchester después de unas breves vacaciones de Navidad, y antes de ir a mi casa pasé por el laboratorio a recoger el correo. Abrí un sobre que contenía fotografías, que, al no llevar ninguna explicación, eran ininteligibles. Entre ellas había una que mostraba el perfil de una mano, con sus huesos marcados claramente en el interior. Busqué alguna carta que pudiese llevar el nombre del remitente y que explicase las fotografías. No había ninguna, pero dentro de una envoltura insignificante encontré un delgado panfleto titulado «Über eine neue Art von Strahlen», por W. C. Röntgen. Ésta fue la primera noticia auténtica que llegó a Inglaterra de un descubrimiento, realizado a finales de 1895, que dio, directa e indirectamente, un tremendo impulso a la ciencia experimental.

En una entrevista que concedió a un periodista, Röntgen dio algunos datos relacionados con su descubrimiento, que merece la pena reproducir:7

> Desde hace ya bastante tiempo venía interesándome por los rayos catódicos, en la forma en que habían sido estudiados por Hertz, y especialmente por Lenard, en un tubo de vacío. Con gran interés había seguido sus experimentos, así como los de otros físicos y me había propuesto realizar yo mismo algunos ensayos al respecto en cuanto tuviera tiempo. A fines del mes de octubre de 1895 lo conseguí. No hacía mucho que había comenzado con mis ensayos, cuando observé algo nuevo. Trabajaba con un tubo de Hittorf-Crook envuelto completamente en un papel negro. Sobre la mesa, al lado, estaba colocado un pedazo de papel indicador de platinocianuro de bario. Hice pasar a través del tubo una corriente y noté una curiosa línea transversal sobre el papel...
>
> El efecto era tal que, con arreglo a las ideas de entonces, solamente podía resultar de la radiación de la luz. Pero era totalmente imposible que la luz proviniera de la lámpara, puesto que, indudablemente, el papel que la envolvía no dejaba pasar luz alguna, ni siquiera la de una lámpara de arco.

Como se ve, el descubrimiento de Röntgen estuvo vinculado a los rayos catódicos; conviene, por consiguiente, ofrecer algunos datos relativos a esta radiación, que tan importante papel desempeñó en el desarrollo de la física contemporánea.

Por razones que sería largo de explicar,[8] las descargas eléctricas a través de gases comenzaron a ser investigadas durante el último cuarto del siglo XIX. Para estos experimentos se utilizaban tubos en los que se conseguían buenos vacíos, y en cuyo interior se colocaban, además de un determinado gas, dos electrodos (el positivo, o ánodo, y el negativo, o cátodo) unidos a una batería. Durante sus investigaciones espectroscópicas, Julius Plücker, de Bonn, encontró, en 1858-1859, que según se iba extrayendo el gas del tubo la luminosidad que lo llenaba en un principio (producida por la diferencia de potencial existente entre los electrodos) disminuía progresivamente hasta que el cátodo aparecía rodeado por una delgada envoltura luminosa, de color variable según la naturaleza del gas introducido en el tubo, y separada del cátodo por un espacio oscuro, tanto más extenso cuanto mayor era el enrarecimiento de la atmósfera. Cuando la presión del gas llegaba a una millonésima de atmósfera, el espacio oscuro invadía todo el tubo, no observándose otra cosa que un pequeño círculo de luz violada en el extremo del cátodo, a la vez que el vidrio adquiría una intensa fosforescencia en la parte opuesta. Este fenómeno se denominó en principio *emisión catódica;* más tarde, cuando fue atribuido a la existencia, dentro del tubo, de radiaciones especiales emanadas directamente del cátodo, recibió el nombre de *Kathodenstrahlen* (*rayos catódicos*), propuesto por Eugen Goldstein, uno de los pioneros en el estudio de esa radiación.

Hoy sabemos que los rayos catódicos son corrientes de electrones. Proyectados desde el cátodo por repulsión eléctrica, navegan a través del espacio casi vacío del interior del tubo, golpean el cristal aportando energía a sus átomos, energía que se remite entonces en forma de luz visible, y finalmente son atraídos hacia el ánodo, a través del cual vuelven a la fuente de electricidad. Pero todo esto estaba lejos de la comprensión de los físicos cuando se descubrieron. Así, diferentes investigadores adoptaron distintas interpretaciones de este fenómeno. Por ejemplo, ¿era la nueva radiación de naturaleza corpuscular u

ondulatoria? Eugen Goldstein se inclinaba por la segunda opción, pero el británico William Crookes, uno de los científicos que más estudió la nueva radiación catódica, pensaba, por el contrario, que los rayos eran moléculas del gas encerrado en el tubo que habían logrado adquirir una carga eléctrica negativa del cátodo, lo que hacía que éste las repeliese violentamente. Experimentos llevados a cabo por Heinrich Hertz en 1883 y 1891 parecían descartar la idea de que los rayos catódicos fuesen partículas cargadas eléctricamente; en su opinión, eran ondas de algún tipo. Pero en 1895, el francés Jean Perrin mejoró las técnicas de Hertz y demostró que estos rayos depositaban carga eléctrica negativa en un colector de carga introducido en el interior de un tubo de rayos catódicos. Finalmente, fue Joseph John Thomson (1856-1940), director del Laboratorio Cavendish de Cambridge desde 1884, con el que ya nos encontramos en el capítulo 2, quien en 1897 detectó una desviación de los rayos catódicos instada por las fuerzas eléctricas producidas por dos placas metálicas electrizadas colocadas dentro del tubo.[9] Las medidas de la desviación permitieron a Thomson calcular el cociente (*e/m*) entre la carga y la masa de los «corpúsculos» (éste es el nombre que utilizó Thomson; hoy los llamamos electrones) que constituyen los rayos catódicos. En sus artículos de 1897, Thomson incluyó otra notable observación: aquellos corpúsculos (electrones) que componían los rayos catódicos eran siempre los mismos, independientemente de cuál fuese la composición del cátodo, del ánodo o del gas del tubo. Las consecuencias de semejante hecho no se le ocultaban a Thomson; así en su libro *Electricity and Matter* (1904) escribía:[10]

> Hemos visto que si engendramos los corpúsculos por rayos catódicos, luz ultravioleta o metales incandescentes, sean cuales fueren los metales y gases presentes, obtenemos siempre la misma clase de corpúsculos. Puesto que pueden obtenerse corpúsculos análogos en todos los conceptos por muy distintos agentes y materiales, y puesto que la masa de los corpúsculos es menor que la de cualquier átomo conocido, se colige que el corpúsculo debe ser un constituyente del átomo de muy

diferentes sustancias. Que, en suma, los átomos de estas sustancias tienen alguna cosa común.

En otras palabras: los indicios apuntaban en el sentido de que se estaba ante un componente universal de la materia, los electrones.

Un poco después de estos trabajos, en 1899, y utilizando técnicas desarrolladas por un antiguo alumno suyo, Charles T. R. Wilson, al estudiar la propiedad que tienen los electrones de condensar sobre ellos gotitas líquidas procedentes de un vacío sobresaturado, Thomson fue capaz de medir por separado la carga del electrón. Obtuvo un valor de $3x10^{-10}$ unidades electrostáticas. Recurriendo al valor ya conocido de e/m, dedujo la masa del electrón.[11]

Al igual que ocurría con los rayos catódicos, la naturaleza de los rayos X fue intensamente debatida desde un principio. La mayor parte de los físicos pensaba que eran algún tipo de radiación electromagnética. El propio Röntgen era de esta opinión, en favor de la cual ofrecía tres hechos: (1) al igual que la luz, la nueva radiación se propagaba en línea recta; (2) no se desviaban en campos eléctricos o magnéticos, y (3) al contrario de lo que ocurría con los rayos catódicos, la nueva radiación descubierta no era absorbida por la materia en proporción directa a la densidad del absorbente. Por otra parte, existían evidencias que apuntaban en la dirección de que no se comportaban como los rayos de luz ordinaria: «He tratado de varias maneras», escribía Röntgen, «de detectar en los rayos X fenómenos de interferencia, pero, desgraciadamente, sin éxito, acaso solamente por su débil intensidad... tampoco pueden ser polarizados por ninguno de los métodos ordinarios.» En consecuencia, era de la opinión de que «estos rayos ultravioletas se comportan de manera completamente diferente a como lo hacen los rayos ultrarrojos, visibles y ultravioletas que se han conocido hasta ahora». Le parecía que existía «algún tipo de relación entre los nuevos rayos y los rayos de luz»: «Se sabe desde hace mucho tiempo», manifestaba, «que pueden existir en el

éter vibraciones longitudinales además de las vibraciones luminosas transversales; y según diferentes físicos, estas vibraciones deben existir. Su existencia, es cierto, no ha sido demostrada hasta el momento y, por consiguiente, no se han investigado sus propiedades mediante experimentos. ¿No deberíamos, en consecuencia, adscribir los nuevos rayos a vibraciones longitudinales del éter?».[12] Ante tal situación, no es extraño encontrarse con que el 1 de febrero de 1896 Kelvin preguntase a Stokes: «Con respecto a los rayos X de Röntgen ¿eres un longitudinalista, un ultravioletista, o un *tertium-quidist*?».[13]

A pesar del gran número de físicos y de médicos que trabajaban en, o, simplemente, con rayos X, no se avanzó demasiado en el conocimiento de su naturaleza hasta 1912. En 1905, por ejemplo, el físico de Liverpool Charles G. Barkla demostró que, después de todo, los rayos X sí se polarizaban, concluyendo, en consecuencia, que si eran un movimiento ondulatorio, entonces, se trataba, al igual que la luz, de ondas transversales. Pero otros fenómenos apuntaban en direcciones contrarias. William Henry Bragg, de quien enseguida diré más, desarrolló un tipo de teoría corpuscular de los rayos X, a partir de sus estudios de la ionización producida en gases por diversas clases de radiaciones.[14] La solución llegaría en 1912 con la difracción de los rayos X, y aunque todavía estamos lejos de ese año, es conveniente dar un salto temporal en nuestra descripción y ver cómo se llegó a ella, además de considerar algunas de las consecuencias que tuvo.

Difracción de rayos X

En 1912, el 21 de abril y en el Instituto de Física Teórica de la Universidad de Múnich dirigido por Arnold Sommerfeld, Walter Friedrich y Paul Knipping observaban, siguiendo una propuesta de Max von Laue (1879-1960), la difracción de rayos X por un cristal. Como ha señalado Paul Forman, la idea de que un cristal estaba formado por moléculas o átomos distribuidos a lo largo y ancho de una

red espacial, era ampliamente conocida y aceptada,[15] de manera que la contribución auténticamente original fue asociar experimentalmente estas estructuras cristalinas con los rayos X, para clarificar así la naturaleza de ambos. Si los rayos X eran ondas electromagnéticas de longitud de onda pequeña,[16] y si los cristales estaban formados por átomos distribuidos de manera regular, entonces, al ser las distancias implicadas similares, se debían producir interferencias al hacer incidir los rayos sobre el cristal. Midiendo entonces distancias entre máximos y mínimos de intensidad, se podría calcular, como se hacía en la óptica ordinaria, la longitud de onda de los rayos X.

Al principio la idea no supuso apenas interés en Múnich; Sommerfeld, por ejemplo, no colaboró, y puso dificultades para que Friedrich, su ayudante, interrumpiera los experimentos en que estaba trabajando y probar así la idea de Laue.[17] El experimento, sin embargo, se pudo realizar finalmente: se irradió con rayos X un cristal de sulfato de cobre y se obtuvieron puntos negros distribuidos periódicamente en la placa fotográfica colocada detrás del cristal. Este resultado hizo que cundiese el entusiasmo, Sommerfeld y Röntgen (que dirigía el gran Instituto de Física de la Universidad) incluidos. Rápidamente se repitió el experimento, con aparatos mejores, y Laue tuvo que esforzarse para proporcionar una teoría del fenómeno.[18] En su autobiografía, el propio Laue se refirió a este punto:[19]

> Después de haberme mostrado Friedrich [una de las fotografías] me dirigí a casa, muy pensativo, por la Leopoldtrasse y ya cerca de ella... se me ocurrió el principio matemático de este fenómeno. Poco antes había tenido que formular de nuevo, en un artículo para la Enciclopedia de Ciencias Exactas, la teoría de la difracción del retículo óptico, que se remontaba a Schwerd (1835), de forma que aplicada dos veces abarcaba también la teoría del retículo en cruz. Sólo necesité aplicarla tres veces, de acuerdo con los tres períodos del retículo espacial, para interpretar el nuevo descubrimiento... Mi día decisivo fue, unas semanas más tarde, cuando pude comprobar esta teoría cuantitativamente en otra fotografía más clara, y hallarla confirmada.

Análisis de cristales

Los átomos que forman los cristales no son todos iguales y en este sentido era inmediato pensar que la difracción de rayos X podría ser utilizada no sólo para determinar las distancias entre esos átomos (o combinaciones de átomos),20 sino también para establecer cuáles eran los constituyentes del cristal. La posibilidad de distinguir entre diferentes átomos surgía de que la difusión de los rayos X varía entre los diferentes elementos químicos (es proporcional al número de electrones que contenga el átomo).

El método de Laue, que utilizaba el espectro continuo de rayos X, es decir, rayos X de diferentes longitudes de onda, no era el más adecuado para llevar a cabo semejante programa, ya que, por ejemplo, cada longitud de onda provocaba una difusión diferente en el cristal, con lo cual se te nían múltiples procesos de difusión. Una solución más conveniente surgió de la colaboración de William Henry Bragg (1862-1942) y William Lawrence Bragg (1890-1971), padre e hijo, *professor* en la Universidad de Leeds y estudiante en el Laboratorio Cavendish de Cambridge, respectivamente. Sin entrar en la cuestión de qué se debe a cada uno,21 vea mos cómo describió William Lawrence algunos de los elementos básicos del método que de sa rro lla ron:22

> Para examinar de manera más completa el haz de rayos X reflejado, mi padre construyó un espectrómetro de rayos X. En este instrumento se puede colocar una cara del cristal de forma que refleje los rayos X con cualquier ángulo (de hecho es la lámina de átomos paralela a la cara la que refleja), y se mide la intensidad del haz reflejado con una cámara de ionización. Con este instrumento rea li zó el siguiente gran descubrimiento. Además de la radiación X «blanca» de todas las longitudes de onda... encontró que cada metal utilizado en el tubo de rayos X como fuente de radiación daba un espectro de rayos X característico de longitudes de ondas definidas, exactamente igual que los elementos dan espectros en la región óptica...
>
> El espectrómetro de rayos X abrió un nuevo mundo.

> Demostró ser un método para analizar la estructura cristalina mucho más poderoso que las fo to gra fías de Laue que yo había utilizado. Se po dían examinar las diversas caras de un cristal sucesivamente y midiendo los ángulos y la intensidad a la que y con la que esas caras reflejan los rayos X, se puede deducir la forma en que los átomos se encuentran distribuidos en capas paralelas a estas caras. La intersección de estas caras señalaba las posiciones de los átomos en el espacio. Por otro lado, se podía utilizar una cara cristalina adecuada para determinar las longitudes de onda de los rayos X característicos procedentes de los diferentes elementos utilizados como fuentes. Se podía seleccionar un haz «puro» de rayos X monocromáticos.

Con esos rayos X monocromáticos era, efectivamente, más fácil medir los ángulos y las intensidades de la radiación X una vez que había interaccionado con los átomos del cristal, y así determinar distancias interatómicas y deducir qué elementos químicos formaban el cristal.

Con sus nuevas técnicas, los Bragg determinaron, en 1913, la estructura del diamante, el primer ejemplo de una estructura en la que los centros de difusión no coincidían con los puntos de una red simple (del tipo de Bravais). Esta determinación constituyó un gran triunfo, que sirvió para extender la fama del método de los Bragg entre físicos y químicos. Antes de que comenzara la Primera Guerra Mundial el joven Bragg determinaba otras estructuras: CaF_2 (fluorita), FeS_2 (pirita) y $CaCO_2$ (calcita). En 1915 padre e hijo recibían el premio Nobel de Física, por sus «investigaciones sobre la determinación de las estructuras cristalinas mediante rayos X».

Pero regresemos a los primeros tiempos del descubrimiento de los rayos X, para así introducir otro gran hallazgo: la radiactividad. Más adelante, en el último capítulo, volveremos a encontrarnos con la difracción de rayos X y con W. L. Bragg.

De la recepción de los rayos X al descubrimiento de la radiactividad

Como no podía ser menos, las noticias del

descubrimiento de los rayos X circularon con cierta rapidez por toda Europa. Así describía Arthur Schuster la reacción que se dio en su entorno:23 «Se puede imaginar el interés que suscitó en el mundo científico el descubrimiento y la sensación que creó en todas partes; pocos fueron los laboratorios en los que no se intentó enseguida repetir el experimento... Casi inmediatamente, la posibilidad de aplicaciones prácticas atrajo al público y muy especialmente a la profesión médica. Estaba claro que se tenía un método de gran utilidad para el diagnóstico de fracturas complicadas, o para localizar objetos extraños en el cuerpo. Para mí, esto tuvo una consecuencia desafortunada. Mi laboratorio se vio inundado por médicos que traían a sus pacientes, de los que se sospechaba que tenían agujas en distintas partes de sus cuerpos, y durante una semana tuve que emplear la mayor parte de tres mañanas en localizar una aguja en el pie de una bailarina de ballet».

En Alemania, el 4 de enero de 1896 Emil Warburg mostró algunas de las fotografías tomadas por Röntgen en una reunión de la Sociedad de Física de Berlín. El 5, la agencia de noticias Wiener Presse transmitía la historia del descubrimiento, y al día siguiente la noticia circulaba por todo el mundo. El corresponsal del *London Daily Chronicle* en Viena, por ejemplo, enviaba a su redacción el día 6 el siguiente texto: «Los rumores de una alarma de guerra no deben distraer la atención del maravilloso triunfo de la ciencia que acaba de comunicarse en Viena. Se anuncia que el profesor Röntgen de la Universidad de Wurzburgo ha descubierto una luz que, al efectuar una fotografía, atraviesa la carne, el vestido y otras sustancias orgánicas». Hasta el propio káiser Guillermo II solicitó una demostración en la Corte, que Röntgen efectuó el día 13.

Un buen ejemplo de la recepción social dada al descubrimiento de la nueva radiación se encuentra en el caso de Barcelona.24 Poco después de que llegasen las noticias de las experimentos de Röntgen (presumiblemente a través de Francia), un grupo heterogéneo de profesionales

—profesores de universidad, médicos y fotógrafos— intentó reproducir los efectos conseguidos en Wurzburgo. El 10 de febrero, Eduardo Lozano y Ponce de León, catedrático de Física Superior de la Universidad de Barcelona, expuso sus experiencias (llevadas a cabo en colaboración con un colega y un fotógrafo, antiguo estudiante de la Facultad de Ciencias) en una conferencia en los locales de la Real Academia de Ciencias y Artes. El procedimiento que siguieron fue el de envolver en papel negro los diferentes tubos del gabinete de física de la Facultad, a los que acercaron «todos los cuerpos fluorescentes que había a mano».25 Sólo en el caso del tubo de Crookes consiguieron observar radiación X por la fluorescencia producida en una pantalla. Una vez logrado esto, procedieron a impresionar algunas placas fotográficas. Siguiendo el ejemplo de Röntgen, obtuvieron fotografías (de muy baja calidad) de una mano, a la que sometieron a una exposición de cincuenta minutos, de una moneda envuelta en papel negro, de una llave en un portamonedas y de un pez sujeto por un hilo sobre una cartulina. Por los mismos días en que Lozano realizó sus experiencias, un estudiante avanzado de medicina, Cèsar Comas i Llaberia, llevó a cabo otras similares que presentó el 24 de febrero en el anfiteatro anatómico de la Facultad de Medicina. La asociación que se estableció en las mentes de una buena parte del público entre los rayos X y la práctica y profesión médica se pone de manifiesto cuando leemos la nota que el periódico *La Publicidad* publicó el 17 de febrero, esto es, antes incluso de que Comas presentara públicamente sus observaciones, en la que se decía que en la Academia de Ciencias se habían mostrado radiografías, pero que «es en el Colegio de Medicina en donde se están llevando a cabo estudios realmente notables».

En Francia la noticia también apareció pronto en los periódicos. El 13 de enero, *Le Matin* reproducía una entrevista a Röntgen que se había publicado el día 8 en un periódico vienes, el *Standard*. El 16, el *Petit Journal* se ocupaba del descubrimiento, que, señalaba, parecía

provenir «de la mano de un mago».[26] Por su parte, la Académie des Sciences dedicó su reunión del 20 de enero de 1896 a estudiar el tema. Uno de los asistentes a aquella sesión fue Antoine Henri Becquerel (1852-1908), desde 1891 catedrático de Física en el Musée d'Histoire Naturelle de París, la misma cátedra que antes que él habían ocupado su padre y su abuelo.[27]

Al igual que muchos otros científicos (físicos, químicos y médicos, principalmente) a lo largo del mundo, Becquerel se puso inmediatamente a estudiar las propiedades de la nueva radiación. En particular, se dedicó a intentar comprobar si los cuerpos fluorescentes generaban rayos X, una hipótesis formulada por el gran matemático y físico matemático Henri Poincaré en la mencionada sesión de la Académie. Los primeros resultados fueron negativos, pero insistió con sales de uranio, cuya fluorescencia ya había estudiado en otras ocasiones. Lo que obtuvo es parte de la historia contemporánea.

El 24 de febrero, es decir, poco más de un mes después de la reunión del 20 de enero, y casi cuatro del descubrimiento de Röntgen, Becquerel presentaba una comunicación a la Academia de Ciencias en la que señalaba que los «rayos emitidos por la sal de uranio expuesta a la luz solar impresionan —a través de una espesa envoltura de papel— una placa fotográfica». Parecía, efectivamente, que la fluorescencia iba acompañada de rayos X. Sin embargo, una semana más tarde, el 2 de marzo, la Academia recibía otra comunicación de Becquerel, esta vez con un contenido mucho más sorprendente. El día 26 de febrero se había visto obligado a interrumpir sus experiencias con las sales de uranio debido a que estaba nublado y no salió el sol. Como tenía la placa fotográfica protegida por una envoltura y la sal de uranio preparada, las guardó en un cajón, esperando que al día siguiente saliese el sol y pudiese exponer la sal a su luz. Como el tiempo no cambió en varios días, el 1 de marzo Becquerel optó por revelar la placa fotográfica, esperando encontrar imágenes débiles. Sorprendentemente, encontró siluetas muy fuertes. Sin la

intervención de la luz solar, sin ninguna fluorescencia visible, el compuesto de uranio había emitido una radiación capaz de impresionar la placa. Casi inmediatamente, el 9 de marzo, Becquerel encontró que además de oscurecer placas fotográficas, la nueva radiación ionizaba los gases, haciéndolos conductores; un hallazgo que permitía medir la «actividad» de una muestra.[28]

El descubrimiento de Becquerel no atrajo excesiva atención; los rayos X seguían en la cresta de la ola de la popularidad. Hubo que esperar a los trabajos de Marie y Pierre Curie para que este nuevo fenómeno recibiese la atención que indudablemente merecía.[29]

Cuando Marie Sklodowska-Curie (1867-1934), una estudiante polaca que en 1895 había contraído matrimonio con Pierre Curie (1859-1906), profesor de la École de Physique et de Chimie de París, decidió, a finales de 1897 (poco después del nacimiento de su primera hija, Irène, futura premio Nobel de Física), intentar conseguir el título de doctora, eligió como tema de su tesis el estudio de los rayos uránicos de Becquerel. Con la ayuda del electrómetro de cuarzo piezoeléctrico desarrollado unos años antes por Pierre junto a su hermano Jacques, pronto encontró que el torio ejercía sobre una placa fotográfica el mismo efecto que el uranio.[30] Asimismo, constató que la *radiactividad* (nombre que acuñaría para la nueva radiación) de los compuestos de uranio y torio estaba ligada a los átomos de estos metales (la intensidad de la radiación era proporcional a la cantidad de uranio o torio, e independiente del tipo de composición química). El paso siguiente fue examinar la radiactividad de yacimientos naturales. Sorprendentemente, encontró que algunos minerales tenían una radiactividad mucho mayor que lo que su contenido en uranio o torio hacía prever. Por ejemplo, la pechblenda, un óxido de uranio, era cuatro veces más activa que otros óxidos de uranio más puros. La explicación que se le ocurrió fue que los materiales que manejaba debían contener algún elemento químico más radiactivo que el uranio o el torio.

Para comprobar esta hipótesis, Marie y Pierre Curie unieron sus fuerzas; Pierre ocupándose preferentemente de los aspectos físicos (estudio de las propiedades de las radiaciones) y Marie de los químicos (separación y purificación de los elementos radiactivos). El 18 de julio de 1898 anunciaban el descubrimiento del polonio; el 11 diciembre hacían lo propio con el radio.[31] A partir de aquel momento, la radiactividad sería tema obligado de investigación de numerosos laboratorios en diferentes países.

Radiactividad, medicina e industria[32]

Aunque, como ya he señalado, el concepto «poder» está sujeto a muy diversos condicionantes y vaguedades, ciertamente que se le puede relacionar con el caso de la radiactividad. De hecho, ese caso nos muestra un aspecto que en otras ocasiones aparece más oculto: un descubrimiento o teoría científica que suscita durante algún tiempo esperanzas —esperanzas «de poder»— que posteriormente se ven frustradas, al menos en algunos aspectos.

Es cierto que la radiactividad no podía competir en atractivo popular con los rayos X, pero pronto la nueva radiación descubierta por Becquerel comenzó a suscitar atención. Y al igual que en el caso de la radiación de Röntgen gracias a las aplicaciones médicas que prometía... o que algunos entendieron que prometía.

Los efectos biológicos del radio fueron observados enseguida, al menos en 1900, en Alemania, por, de manera independiente, Friedrich Giesel y Otto Walkoff, quienes se expusieron ellos mismos a los efectos de la radiación del radio. Si tenemos en cuenta la relación que los orígenes de la radiactividad tuvieron con los rayos X, y el interés y profusión con que estos rayos fueron estudiados y utilizados por médicos de muy variados y numerosos países, no resulta extraño que la radiactividad recibiera también rápidamente atención en el mundo médico. Pierre Curie se

interesó enseguida por los resultados de Giesel y Walkoff, y en 1901 publicaba un artículo conjunto con Henri Becquerel sobre «La acción fisiológica de los rayos del radio».[33] Es interesante reproducir algunos pasajes de este trabajo: «Los rayos del radio actúan enérgicamente sobre la piel», escribían Curie y Becquerel, «el efecto producido es análogo al que resulta de la acción de rayos de Röntgen». E inmediatamente reconocían su deuda con los dos científicos alemanes: «Se debe a los Sres. Walkoff y Giesel las primeras observaciones de esta acción... El Sr. Giesel ha colocado sobre su brazo, durante unas horas, bromuro de bario radificado rodeado de una hoja de celuloide. Los rayos que actúan a través del celuloide han provocado sobre la piel un ligero enrojecimiento. Dos o tres semanas más tarde, el enrojecimiento aumentó, produciéndose una inflamación y terminando por caerse la piel». Y en este punto hacían referencia a sus propias experiencias:

> El Sr. Curie ha reproducido sobre él mismo la experiencia del Sr. Giesel, haciendo actuar sobre su brazo, a través de una hoja delgada de gutapercha, y durante diez horas, cloruro de bario radificado, de actividad relativamente débil (la actividad era 5.000 veces la del uranio metálico). Tras la acción de los rayos, la piel se ha enrojecido sobre una superficie de seis centímetros cuadrados; la apariencia es la de una quemadura, pero la piel apenas se hace dolorosa. Al cabo de unos días, el enrojecimiento, sin extenderse, aumenta de intensidad; a los veinte días, se forman costras, después una llaga que se ha curado utilizando apósitos; a los cuarenta días, la epidermis comenzó a regenerarse por los bordes, llegando al centro, y cincuenta y dos días después de la acción de los rayos, queda todavía una especie de llaga, que toma un aspecto grisáceo, indicando una mortificación más profunda.[34]

Es muy interesante citar el último párrafo de este artículo: «Además de estas acciones vivas, hemos sufrido sobre las manos, durante las investigaciones realizadas con los productos más activos, diversas acciones. Las manos tienen una tendencia general a perder la piel; las extremidades de los dedos que han sostenido tubos o

cápsulas que encerraban productos muy activos se vuelven duras y a veces muy dolorosas; para uno de nosotros [sin duda Pierre Curie], la inflamación de las extremidades de los dedos ha durado quince días y ha terminado con la caída de la piel, mientras que una sensación dolorosa no ha desaparecido todavía completamente al cabo de dos meses».

Los efectos patológicos del manejo de sustancias radiactivas se hicieron, como estamos comprobando, patentes desde el principio a Pierre y Marie Curie. No los ignoraban, no podían ignorarlos, ya que les afectó muy pronto. La temprana muerte (en un accidente) de Pierre acaso le evitó mayores sufrimientos, aunque por entonces su salud ya se había debilitado mucho. En cuanto a Marie, padeció toda su vida los efectos de sus investigaciones. Especialmente dolorosos fueron sus últimos años: entre 1923 y 1930 sufrió cuatro operaciones de cataratas. En 1932 se agudizaron las lesiones en sus manos. Finalmente, falleció, en 1934, de anemia perniciosa, resultado de haber estado expuesta durante tanto tiempo a radiaciones. También su hija y temprana colaboradora, Irène, sufrió los efectos de la radiactividad: murió, en 1956, de leucemia. Desde los dieciséis años, cuando trabajaba en hospitales o viajaba con su madre en vehículos radiológicos que transportaban aparatos de rayos X por los campos de batalla de la Primera Guerra Mundial, había estado sometida a fuertes dosis de rayos ionizantes. Más tarde, su propio trabajo científico había continuado exponiéndola a radiaciones parecidas.

Más de medio siglo después de los experimentos que condujeron al descubrimiento del radio, Frédéric Joliot, el marido de Irène Curie, estudió la radiactividad que todavía contenían manuscritos en los que Marie y Pierre Curie anotaban los resultados de sus investigaciones. Y lo que encontró no hizo sino constatar con qué materiales tan peligrosos habían estado trabajando sus suegros. «Hacia 1900», comenzaba señalando, «en la época en la que se acababa de observar la acción cutánea de los rayos emitidos por el radio, los especialistas no se daban cuenta de los

peligros de las operaciones con radioelementos, y no tomaban prácticamente ninguna precaución para protegerse.»[35] Y entre esos especialistas se encontraban Marie y Pierre Curie, que «habían logrado extraer de la pechblenda alrededor de 0,1 gramos de radio, cantidad importante y que sabemos es peligrosa para manipular. Los documentos, fichas de las experiencias en las que habían anotado, en el mismo laboratorio, las observaciones realizadas, han sido cuidadosamente conservados». Gracias a ello, en abril de 1956, habiendo sido encargado de elegir algunos documentos de Pierre Curie para exponer en una exhibición que se iba a realizar sobre su obra en el Musée Pédagogique de París, Joliot midió la actividad de documentos de 1902, relacionados con los trabajos destinados a determinar el peso atómico del radio. Los análisis mostraron que estaban fuertemente contaminados, distinguiéndose incluso «las trazas de dedos —sin duda los de Pierre y Marie Curie— que llevaban, ellos mismos, radio». Y añadía: «Muchos años después, hacia 1926, los trabajadores que frecuentaban el Instituto del Radio pudieron ver, en algunos dedos de Marie Curie, en especial en la yema del índice, las trazas profundas de destrucción provocadas por los rayos». Es comprensible que semejantes constataciones despertasen sentimientos emotivos en Joliot: «Cuando los rayos emitidos por las fichas penetran en el contador provisto de un altavoz, la actividad se manifiesta mediante una sucesión de señales audibles. Es emocionante escuchar manifestarse de esta manera al mismo radio que había sido extraído y manipulado por Pierre y Marie Curie hace cerca de sesenta años».

Afortunadamente, la experiencia ganada en todos esos años había mejorado la situación, como también apuntaba Joliot. El análisis de documentos procedentes de 1931, y que él mismo e Irène Joliot-Curie habían manipulado, correspondientes a la extracción de una cantidad de radio de entre 0,5 y 1 gramo, mostraban una actividad alrededor de diez veces menor que la de las fichas de Pierre y Marie de 1902, a pesar de que entonces la cantidad implicada

había sido entre 5 y 10 veces más pequeña (0,1 gramos). Pero, como acabo de mencionar, a Irène esto no le sirvió: había estado manipulando, junto a su madre, materiales radiactivos en años en los que las precauciones que se tomaban eran mucho menores, y, en cualquier caso, actividades más reducidas, aunque fuesen diez veces más pequeñas, no son nulas.

Recuperando la narración cronológica, y centrándonos en la relación de la radiactividad con la medicina, tenemos que el ejemplo de las experiencias de Pierre Curie no pasó inadvertido: el mismo año de 1901, el doctor Henri Danlos, especializado en dermatología y jefe de servicio del Hospital Saint-Louis de París, intentó, utilizando las radiaciones emitidas por radio, lograr la cicatrización de lupus rebeldes a los métodos clásicos de cicatrización.[36] Hacia 1904, la atención que la clase médica gala —y, de hecho, de la mayoría de los países en los que la ciencia era objeto de alguna atención— prestaba a la radiactividad como posible instrumento terapéutico iba en aumento. En el Instituto Pasteur, uno de sus investigadores, Jean Danysz, que también era miembro del consejo de dirección de la revista *Le Radium*, fundada en 1904 para difundir la ciencia y aplicaciones de la nueva radiación, llevaba a cabo investigaciones acerca de la acción del radio sobre tejidos orgánicos, para lo cual utilizaba principalmente conejos.[37] También llegó el interés por la radiactividad a la Facultad de Medicina de París, donde A. Darier dictó un curso sobre «Las aplicaciones médicas del radio», cuya primera lección tuvo lugar el 3 de mayo de 1904. Comenzaba ésta de la siguiente manera:[38]

> Es ciertamente presuntuoso, temerario incluso, presentar como agente terapéutico a un elemento químico-físico como el radio, cuyas propiedades son sólo conocidas de manera incompleta.
>
> Pero, lo saben ustedes, es ya el cuarto año que hemos emprendido estas *lecciones de terapia basadas en los descubrimientos más recientes*, y estaba pensando si tomar como tema de estudio la acción de los rayos X cuando me fueron reveladas las propiedades terapéuticas del radio, tan

> interesantes, tan sorprendentes que turban al clínico al igual que sus propiedades físicas han turbado hasta a los propios sabios que las han descubierto.

A continuación Darier se extendía en consideraciones relativas a la historia del descubrimiento de la radiactividad, tras lo cual detallaba el inicio de sus trabajos en el campo, lo que aconteció en 1903: «Me puse inmediatamente a estudiarlo [el radio] y tuve mucha suerte en encontrarme con un caso que me mostró el poder analgésico tan marcado de las sustancias radiactivas. Tenía en tratamiento desde hacía quince años a un paciente afectado de un cáncer de párpado que, a pesar de todas las operaciones y de todos los tratamientos, había terminado por destruir completamente el ojo y toda la cavidad orbital. Esta enfermedad acarreaba grandes sufrimientos durante el día y la noche, que nada podía calmar». Tuvo entonces Darier la idea de aplicar (según él fue el primero en dar tal paso) «sobre la superficie ulcerada una capa de polvo ligeramente radiactivo, y grande fue mi sorpresa cuando me enteré, al día siguiente, de que el enfermo había pasado una noche excelente y que había podido comer y beber sin sufrir atrozmente como antes». Al cabo de tres semanas (en las que Darier continuó aplicando dosis de radio cada vez más fuertes), los dolores antiguos volvieron, y, además, la enfermedad había seguido su curso progresivo. Pero continuó con tratamientos similares en otros casos, y finalmente llegó a la conclusión (publicó un artículo en este sentido en la revista de la Academia de Medicina el 6 de octubre de 1903) de que el radio tenía efectos analgésicos, y que ante él se abría un nuevo mundo médico que había que explorar. De hecho, prometía que a lo largo de su curso abordaría cuestiones como inhalaciones radiactivas en ciertas afecciones de laringe y de pulmón, inyecciones subcutáneas o intravenosas de soluciones radiactivas, o de la absorción de polvos radiactivos. Posibilidades cuyo sólo pensamiento ahora, más de un siglo después, nos hacen temblar.

En cualquier caso, lo que está claro es que Darier no

fue el único en adentrarse en el universo del tratamiento de enfermedades, cánceres en particular, empleando sustancias radiactivas. Las páginas de los primeros tomos de *Le Radium* están llenas de informaciones —y de fotografías— en semejante dirección. Estudios sobre, por ejemplo, «Un caso de epitelioma vegetativo de la región temporo-maxilar curado por la radioterapia», «Acción del radio sobre algunos tumores particulares: tratamiento de un cáncer epitelial de oreja» (firmado por Robert Abbe, un médico del Hospital Saint-Luke de Nueva York), «Acción del radio sobre el sistema nervioso central» (H. Obersteiner, Viena), «Las sales del radio en el cáncer», «Ensayos terapéuticos con el radio y algunas sustancias fluorescentes». Incluso se pueden encontrar noticias sobre «La generación espontánea bajo la influencia del radio» (*Le Radium*, suplemento al número del 15 de julio de 1905, p. 2), en las que se informaba que un investigador del Laboratorio Cavendish de Cambridge, Burke, «pretende haber demostrado la posibilidad de engendrar artificialmente vida», tras exponer a la acción del radio una solución de gelatina de vaca, aunque, en general, era la utilización del radio para combatir cánceres la que acaparaba una gran parte de la información y análisis médicos aparecidos en la revista francesa. No es extraño, en semejante atmósfera, que también se ofreciesen, en anuncios, productos radiactivos con supuestas ventajas médicas. Así, el Laboratoire Pharmaceutique du Radium del doctor A. Jabon, de París, anunciaba la preparación de medicamentos radiactivos, como quininas, mercurio, vaselina, lanolina, glicerina o pomada «radificadas». «Todos nuestros productos radificados», se manifestaba, «contienen radio; conservan indefinidamente sus PROPIEDADES RADIACTIVAS y difieren esencialmente de sustancias RADIACTIVAS que pierden rápidamente su actividad.» Comenzaban los, en afortunada expresión de Monique Bordry, «años locos del radio».[39]

Como no podía ser menos, empezaron a proliferar los libros dedicados a los aspectos médico-terapéuticos del radio. Libros como, por citar un ejemplo, el de Dawson

Turner, *lecturer* de física médica en el Surgeons' Hall de Edimburgo y *fellow* de la Royal Society de Edimburgo, *Radium, its Physics and Therapeutics* (Turner, 1911), en el que se pasaba revista a una larga serie de tratamientos e historiales concretos en los que se había aplicado radio, en males como neuralgias, reumatismos gonorreicos, glándulas turberculosas, linfomas, artritis reumáticas, úlceras en córneas o afecciones catarrales.

Aunque no todas las enfermedades a las que se aplicaba o intentaba aplicar sustancias radiactivas (el radio especialmente) eran cánceres, era este mal el que protagonizaba, y protagonizaría con intensidad creciente en el futuro, la «terapia médica radiactiva». Se trataba de aplicar sustancias que contuviesen radio sobre superficies con tumores malignos o benignos, con el propósito de disminuir su tamaño o eliminarlos completamente, basándose en la capacidad energético-destructiva de esas sustancias. Y, efectivamente, desde el principio la utilización del radio mejoró sustancialmente la calidad de vida de muchos pacientes, como atestiguan las muchas fotografías que ilustraban los artículos y libros a los que me acabo de referir, estableciéndose de esta manera una nueva disciplina médica, la radioterapia.

La popularidad del radio como panacea cuasi-universal continuó durante las tres primeras décadas de nuestro siglo. Entre los milagros que se le adjudicaban se encontraban cremas faciales que contenían radio, y que prometían rejuvenecer el cutis, o baños de radio que devolverían el vigor perdido. En Francia, por ejemplo, la Sociedad Tho-Radia vendía en la década de 1920 una crema de belleza que contenía una, afortunadamente pequeña, cantidad de torio y de radio. Se vendía exclusivamente en farmacias, según una fórmula de un tal doctor Alfred Curie (¡un médico que jamás existió!) que contenía 0,50 gramos de cloruro de torio y 0,25 microgramos de bromuro de radio. Entre los poderes que los creadores de esa crema le adjudicaban se destacaba el que eliminaba las arrugas de la cara. Y todo gracias a la ciencia: «La ciencia», rezaban los

anuncios, «ha creado Tho-Radia para embellecer a las mujeres. Ellas se beneficiarán. ¡Que permanezca fea quien quiera!».[40]

Sin embargo, semejantes promesas terminaron por conducir a grandes desencantos y acusaciones. En Estados Unidos, un suceso contribuyó notablemente a ello. En 1925, un tal William Bailey, que utilizaba fraudulentamente el título de «Doctor», patentó y promovió un producto llamado Radithor, que estaba compuesto de agua mezclada con radio; estrictamente, una solución que contenía dos isótopos del radio, el Ra-226 y el Ra-228 (más tarde denominado mesotorio), que pretendía curar «la dispepsia, la presión arterial elevada, la impotencia y más de otras 150 enfermedades endocrinológicas». Fuesen cuales fueran sus virtudes, lo cierto es que el Radithor era letal en grandes cantidades, como se demostró algún tiempo después, cuando un millonario (y campeón de golf *amateur*) de nombre Eben Byers comenzó a tomarlo en 1927, bajo la recomendación de un médico, para tratar un dolor crónico en uno de sus brazos. Inicialmente, Byers manifestó que se sentía rejuvenecido, pero en 1932, después de haber consumido entre 1.000 y 1.500 botellas de Radithor, Byers falleció, víctima de una anemia severa, pérdida de peso, destrucción masiva de los huesos de su mandíbula, cráneo y en general esqueleto, y disfunciones en el riñón. La tragedia fue aireada por la prensa, y la Food and Drug Administration (Agencia de Alimentos y Medicinas) comenzó a tomar cartas en el asunto.

De hecho, se podía y debía haber actuado antes. En efecto, durante la Primera Guerra Mundial, el radio fue utilizado extensivamente en pinturas para esferas luminosas de relojes e instrumentos militares. La técnica empleada (desarrollada por primera vez en Alemania en 1908) era la siguiente: se utilizaban cristales de sulfuro de cinc mezclados con sales de radio; las partículas α que emiten estas últimas en sus desintegraciones radiactivas chocan con las moléculas de los cristales de sulfuro de cinc, produciendo emisión de luz. Era esta luminosidad la que

permitía «ver en la oscuridad».

En Estados Unidos esta técnica fue introducida en 1913, y cuando la nación entró, en 1917, en la Primera Guerra Mundial se empleó de manera generalizada. Una de las principales factorías que suministraban estos materiales se encontraba en Orange, New Jersey. Tenía cientos de empleados, la mayoría mujeres muy jóvenes, que habitualmente mojaban en sus labios los pinceles que empleaban para pintar con la mezcla radiactiva. En consecuencia, y sin darse cuenta, ingirieron cantidades pequeñas pero significativas de radio. Entre 1922 y 1924, nueve de aquellas mujeres murieron, después de habérseles diagnosticado lesiones como necrosis de la mandíbula y anemia. Las investigaciones que se emprendieron ya señalaron la ingestión de sustancias radiactivas como la causa más probable de las muertes. Y todo esto ocurrió antes del fallecimiento de Eben Byers.

La época dorada —los «años locos»— del radio como panacea médica llegó a su fin de esta manera. Incluso en lo que se refiere a tratamientos más razonables. Hoy sabemos, por ejemplo, que la radiación que penetra en los tejidos de personas sometidas a tratamientos con radiactividad es principalmente la de los rayos γ que emiten sustancias radiactivas. Por eso, cuando se dispuso de otros radioisótopos, menos dañinos en general que el radio, que emitían rayos γ, como el cesio-137 (que se obtiene a partir de ciertas reacciones nucleares), el empleo del radio para el tratamiento del cáncer disminuyó drásticamente, hasta su práctica desaparición.

Paralelamente a la historia que acabo de esbozar, se desarrolló otra, que de hecho complementaba a la anterior (se necesitaba producir elementos radiactivos para poder comercializarlos): la «industrialización» del radio.

Desde 1904 el laboratorio de los Curie comenzó a colaborar con regularidad con un químico industrial, Armet de Lisle, que, después de consultar con Marie Curie, estableció una factoría de radio en Nogentsur-Marne, que llamó Sels de Radium («Sales de Radio»). El objetivo

principal era obtener compuestos de radio que se pudiesen vender con vistas a sus aplicaciones médicas. El interés por las menas de las que se podía extraer radio había aumentado por entonces considerablemente. En el número (el 4) de abril de 1904 de *Le Radium* se informaba que a petición de la Academia de Ciencias de Viena, el ministro de Agricultura del Imperio austrohúngaro había ordenado, «para facilitar el examen de cuestiones importantes relativas al radio», que se prohibiese «hasta nueva orden el comercio de residuos de extracción resultantes de la fabricación de sales de uranio de Joachimsthal». No obstante, se hacía una excepción con Pierre Curie, a quien se permitía comprar diez toneladas, la misma cantidad que se destinaba a la Academia de Ciencias vienesa. El que se hiciese una excepción con él hablaba a las claras del prestigio internacional que Pierre y Marie habían alcanzado.

En ese mismo número de *Le Radium* se informaba que se había fundado en Estados Unidos, en Buffalo, una sociedad (Welsh-Lofftus Uranium and Rand Metals Company) para explotar minerales radiactivos obtenidos en el estado de Utah, a casi 5.000 kilómetros de distancia de Buffalo. El mineral de que se trataba era, sobre todo, carnotita, un uranilvanadato, y de cada tonelada se extraía alrededor de un gramo de sales de bario radiactivo que valía 1.000.000 veces más que el uranio.

Y puesto que estoy refiriéndome a Estados Unidos y a 1904, es interesante mencionar un detalle que habla por sí solo de la creciente popularidad de la radiactividad en Norteamérica.

Desde la primera, que tuvo lugar en 1851 en Londres, las Exposiciones Universales atrajeron el fervor popular. Millones de personas las visitaban, deseosas de ver en sus contenidos todo tipo de maravillas, que de otra manera en su mayor parte quedarían fuera de su alcance. Una de esas Exposiciones, y de las más célebres, fue la que tuvo lugar entre el 30 de abril y el 1 de diciembre de 1904 en San Luis (ya nos apareció en el capítulo 2). Según las estadísticas

oficiales, 19.694.855 personas la visitaron. Y entre las atracciones que encontraron estaba una exposición dedicada al radio, que el gobierno norteamericano había encargado preparar a George-F. Kunz, oficial especial en la Agencia de Vigilancia Geológica de Estados Unidos. Se trató, según la nota publicada en 1905 por George Pélissier, secretario particular de Kunz, en *Le Radium*, de una exposición que «reunió en un mismo marco todo lo que había sido escrito, dicho, presentado y obtenido en este campo, desde que Becquerel descubriese la radiación, hasta los hallazgos más recientes».41 Minerales relacionados con la radiactividad, muestras de sustancias utilizadas en experimentos con rayos X, radio y radiaciones ultravioletas, la primera sal (cloruro de radio) radiactiva preparada en Estados Unidos (por Alexander H. Phillips, de la Universidad de Princeton), radiografías y fotografías, así como todo tipo de aparatos empleados en la investigación de los fenómenos radiactivos se podían contemplar en la exposición. De hecho, la ciencia de la radiactividad tuvo otra presencia notable en San Luis. A mediados de septiembre, durante una semana, se celebró, dentro de los actos que acompañaron a la Exposición, el ya mencionado en el capítulo 2 Congreso de Artes y Ciencias, una parte del cual estuvo dedicada a la física, química, astronomía y ciencias de la Tierra. Entre los conferenciantes de aquella sección, junto a científicos como Edward Nichols, Carl Barus, Arthur Kimball, Paul Langevin, Ludwig Boltzmann y Henri Poincaré, estuvo Ernest Rutherford, que se distinguió en el estudio de los fenómenos radiactivos. La conferencia que pronunció llevó el título de «Problemas actuales de la radiactividad». De manera más modesta, Robert Millikan, que no disfrutaba aún de la fama que obtendría más tarde, presentó una comunicación más breve sobre «La relación entre la radiactividad y el uranio contenido en ciertos minerales».42 La radiactividad era, en consecuencia, bien conocida, y cada vez más, en Estados Unidos hacia 1904.

Volviendo a Armet de Lisle, tenemos que con él trabajaron colaboradores de los Curie, como Georges

Gabriel Robillard, Paul Razet o Jacques Danne. La relación entre Marie Curie y de Lisle fue, sin duda, satisfactoria para ambos. Por un lado, de Lisle se aprovechaba del conocimiento acumulado por los Curie, pero las investigaciones de Marie también se beneficiaron de la existencia de esta industria: por ejemplo, cuando le encargó el tratamiento de varias toneladas de pechblenda, con las que se obtuvieron 40 centígramos de cloruro de radio, a partir de los cuales realizó, en 1907, una nueva determinación del peso atómico del radio. El año siguiente (1908), de Lisle puso, a petición de Marie, una zona de su fábrica a su disposición; esta zona se utilizó para llevar a cabo, bajo la supervisión de Debierne, trabajos de índole química.

Pero el laboratorio de Curie no colaboró sólo con Sels de Radium. También lo hizo con otras dos fábricas: la establecida por Jacques Danne, inicialmente en 1907 y ya de forma más definitiva en 1911 con el nombre de Laboratoire d'Essais des Substances Radioactives («Laboratorio de Ensayos de Sustancias Radiactivas»), Société Industrielle du Radium («Sociedad Industrial del Radio») a partir de 1912, y otra en la que desde 1911 trabajaba como supervisor otro investigador del laboratorio de los Curie, Albert Laborde, Société Anonyme de Traitements Chimiques («Sociedad Anónima de Tratamientos Químicos»), fundada por el médico Henri de Rothschild. Junto a los rayos X, y un poco después que éstos, la radiactividad se constituyó en uno de los primeros ejemplos del siglo XX de interrelación entre ciencia e industria, continuando, aunque en un ámbito muy diferente, el tipo de relación con el que ya nos encontramos en el capítulo 2 en los casos de la química de los colorantes y la física del electromagnetismo en el siglo XIX.

De la radiactividad al modelo atómico de Rutherford

Uno de los investigadores que pasaron a ocuparse de la radiactividad fue un joven neozelandés llamado Ernest

Rutherford (1871-1937), que desde septiembre de 1895 trabajaba con una beca en el laboratorio de J. J. Thomson. El tema seleccionado por Rutherford fue el de la estructura de la radiación emitida por las sustancias radiactivas, un problema del que se ocupaban también otros científicos, entre ellos los Curie.

Los primeros estudios de Rutherford sobre la ionización producida por los rayos uránicos le llevaron a concluir que «la causa y origen de la radiación emitida continuamente por el uranio y sus sales todavía sigue siendo un misterio. Todos los resultados obtenidos apuntan hacia la conclusión de que el uranio emite tipos de radiación que, en lo que a su efecto sobre gases se refiere, son similares a los rayos Röntgen y a la radiación secundaria emitida por los metales cuando inciden sobre ellos rayos Röntgen. Cuando no existe polarización o refracción la similitud es completa».43

En sus estudios Becquerel se había dado cuenta de que la radiación descubierta estaba formada por rayos con diferente capacidad de penetración. En el artículo de Rutherford que acabo de citar, éste avanzó en esa línea, señalando que: «Estos experimentos demuestran que la radiación del uranio es compleja, y que están presentes al menos dos tipos distintos de radiación, una que se puede absorber muy fácilmente, y que por conveniencia llamaremos radiación α, y la otra de un carácter más penetrante, que será denominada radiación β».

El artículo de Rutherford apareció en el número de enero del *Philosophical Magazine;* por consiguiente debió haber sido finalizado antes de que los Curie comunicasen su descubrimiento del radio, y, probablemente, antes de que fuese posible hacerse con alguna muestra de polonio. Estas dos sustancias eran, sin embargo, unas fuentes radiactivas más potentes que el uranio, y con ellas se pudo estudiar más fácilmente la estructura de la radiación radiactiva. La técnica esencial fue colocar un imán y ver si los rayos se desviaban. Para sorpresa de muchos, en 1899 se vio (Giesel y Meyer y von Schweidler) que los rayos de Becquerel se curvaban en la dirección que cabía esperar de partículas de

carga negativa. En 1900, Pierre Curie demostraba que la división en rayos α y β introducida por Rutherford también se plasmaba en la desviación magnética. Una placa fotográfica expuesta a radiación procedente del uranio que había pasado a través de un campo magnético, mostraba dos regiones diferentes. Solamente los rayos β parecían curvarse; la radiación α aparentemente viajaba en línea recta.[44]

Midiendo el cociente *e/m* pronto se comprobó que los rayos β eran electrones que se movían a gran velocidad. Averiguar la naturaleza de la radiación α fue un problema mucho más complicado, que Rutherford sólo pudo comenzar a resolver hacia 1903, ayudado por trabajos de Marie Curie, Robert J. Strutt, el futuro cuarto barón Rayleigh y William Crookes. En un artículo publicado aquel año, Rutherford, que desde finales de septiembre de 1899 ocupaba una cátedra en la Universidad McGill de Montreal (en donde permanecería hasta 1907, cuando fue elegido para suceder a Schuster en Manchester), reconocía los errores que había cometido: «Ha sido difícil ofrecer una explicación satisfactoria de la naturaleza de [los rayos α]. He demostrado antes que no se puede mantener la opinión de que son rayos secundarios debidos a la emisión de los rayos β. Un conjunto de evidencias indirectas me ha llevado recientemente a la opinión de que los rayos α son en realidad cuerpos cargados proyectados con gran velocidad».[45] Visto retrospectivamente, un elemento importante del problema era que al ser los rayos α partículas de una masa mucho mayor que los electrones, era difícil apreciar su curvatura cuando pasaban por campos eléctricos o magnéticos. En su conferencia Bakeriana (*Bakerian lecture*) de 1904, Rutherford se mostraba bastante inseguro en todo lo que se refería a la carga de los rayos α:[46] «Es de gran importancia determinar todo lo directamente que sea posible el número total de partículas emitidas de una cantidad determinada de radio, para así deducir el número de átomos que se rompen por segundo. El método más directo de determinar este número

es medir la carga positiva que transportan los rayos α... Se ha realizado un número elevado de experimentos bajo diferentes condiciones, pero todos los resultados han sido hasta el momento negativos. Es muy difícil evitar la conclusión de que las partículas α llevan consigo una carga positiva, pero debe suponerse que el efecto de esta carga se neutraliza de manera exacta de alguna forma».

El año siguiente, sin embargo, ya consideraba abiertamente la posibilidad de si las partículas α eran o no *átomos* de helio; no obstante, hasta 1908 no estuvo lo suficientemente seguro como para escribir «como una partícula α es un átomo de helio...».[47]

Si se observa con cuidado, Rutherford empleaba la expresión «*átomos* de helio» para lo que hoy sabemos son «*núcleos* del átomo de helio». No es sorprendente este error, toda vez que la estructura atómica de la materia constituía un problema abierto. Sería Rutherford quien daría el paso fundamental en esta dirección, utilizando, precisamente, las partículas α y β como instrumento de análisis.

El problema de explicar la estructura de la materia en función de «unidades elementales» adquirió nuevo vigor durante la segunda mitad del siglo XIX. Una de las posibilidades, que llegó a desarrollarse con cierto detalle desde el punto de vista teórico, fue la de los anillos vorticiales. En *A Treatise on the Motion of Vortex Rings*,[48] obra con la que ganó el premio Adams de la Universidad de Cambridge en 1882, J. J. Thomson resumía con acierto los principales atractivos de semejante enfoque:[49] «La teoría de que las propiedades de los cuerpos se pueden explicar suponiendo que la materia es una colección de líneas vorticiales en un fluido perfecto que llena el universo ha hecho que el tema del movimiento vorticial constituya en la actualidad la rama más interesante e importante de la hidrodinámica. Esta teoría, que fue propuesta en primer lugar por Sir William Thomson, como consecuencia de los resultados obtenidos por Helmholtz en su célebre artículo "Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen welche den Wirbelbewegungen entsprechen" [1858], tiene

a priori argumentos muy fuertes en su favor. Ya que el anillo vorticial posee obviamente muchas de las cualidades esenciales para una molécula que tiene que constituir la base de una teoría dinámica de los gases. Es indestructible e indivisible; la resistencia del anillo vorticial y el volumen de líquido que lo componen permanece inalterado siempre; y si se puede hacer un nudo con algún anillo vorticial, o si dos de estos anillos se pueden enlazar de alguna manera, mantendrán siempre el mismo tipo de nudo o de enlace. Estas propiedades parecen suministrarnos buenos materiales para explicar las propiedades permanentes de la molécula».

Sin embargo, tras sus trabajos sobre el electrón Thomson perdió interés en este tipo de modelos en los que era difícil incorporar al portador de unidad de carga eléctrica que con tanto esfuerzo había identificado. De hecho, durante una buena parte de la primera década del nuevo siglo, se convirtió en el principal defensor de un modelo que incorporaba ideas desarrolladas en 1878 por el científico estadounidense Alfred Marshall Mayer, pero introduciendo el electrón.[50] En el ya mencionado *Electricity and Matter,* Thomson se refirió a esos modelos señalando que en ellos los electrones (todavía «corpúsculos» en su terminología) se encontraban en «una esfera de electrización uniforme positiva que produce una fuerza atractiva radial en cada corpúsculo proporcional a su distancia al centro de la esfera». El átomo de hidrógeno lo representaba mediante una esfera cargada positivamente, de radio de unos 10-8 centímetros, con un electrón oscilando en el centro. A partir de ahí los problemas aumentaban, ya que había que disponer los electrones en la esfera correspondiente de manera que estuviesen en equilibrio bajo la atracción que suponía su interacción con la carga positiva de la esfera, en la que se encontraban sumergidos, y la repulsión producida por otros electrones con el mismo signo de carga, teniendo en cuenta, naturalmente, el movimiento de los propios electrones. En el caso de que fueran sólo dos los electrones, el problema

era de fácil solución y Thomson daba la distancia a que se encontraban. Con tres electrones existiría equilibrio cuando estuviesen situados en los vértices de un triángulo equilátero, mientras que con cuatro sería un tetraedro regular con su centro en el de la esfera. El problema llegaba cuando se iba aumentando el número de electrones:[51] «Un cálculo matemático demuestra que, a menos que el número de corpúsculos sea muy pequeño, siete u ocho a lo más, esta disposición es inestable y no puede persistir nunca. Cuando el número de corpúsculos es más grande que este límite, los corpúsculos se rompen en dos grupos. Un grupo que contiene el menor número de corpúsculos está en la superficie de un pequeño cuerpo concéntrico con la esfera; los restantes están en la superficie de un cuerpo concéntrico mayor. Cuando el número de corpúsculos crece, se obtiene un estado donde el equilibrio no puede ser estable aun con dos grupos, y los corpúsculos se dividen en tres grupos, dispuestos en las superficies de hojas concéntricas; y a medida que crece el número se pasa por estados en que más grupos son necesarios para el equilibrio. Con cualquier número considerable de corpúsculos, el problema de hallar la distribución de equilibrio es demasiado complejo para el cálculo; y debemos recurrir a la experimentación y ver si podemos hacer un modelo en que las fuerzas que producen el equilibrio son análogas a las que hemos supuesto existen en los electrones».

En este punto Thomson recurría a los experimentos con imanes de Mayer, pero para lo que pretendo ya es más que suficiente, puesto que lo que me interesaba era que se apreciase que los esfuerzos del director del Laboratorio Cavendish se basaban completamente en la física del siglo XIX, en la que ahora denominamos «física clásica». Pretendían, por supuesto, poner en relación estos átomos con fenómenos como la radiactividad, las propiedades periódicas de los elementos químicos o las líneas espectrales observadas, pero basándose únicamente en la teoría física tradicional, y tenían la virtud —desde el punto de vista de lo que había de venir— de introducir capas

electrónicas en los átomos. La solución al problema de la constitución y estabilidad de la materia vendría, no obstante, por otro camino y en él Rutherford, el antiguo estudiante de Thomson, desempeñaría de nuevo un papel importante.

El modelo atómico de Rutherford

Hemos visto que en el curso de sus investigaciones Rutherford se había familiarizado con las partículas α y β. No es de extrañar, por consiguiente, que pensase que podría utilizarlas como herramientas de análisis atómico. En 1909, dos investigadores de su laboratorio de Manchester, Hans Geiger y Ernest Marsden, lanzaban partículas α contra placas delgadas de diversos metales.[52] Para sorpresa de todos, encontraban que «la dirección de una pequeña fracción [una de entre 8.000] de las partículas α que llegan a una placa metálica es modificada de tal manera que vuelven a aparecer de nuevo en el lugar de partida». A Rutherford le pareció que para que una partícula α cambiase su trayectoria en un ángulo de 90 grados o más hacían falta campos eléctricos mucho más intensos de los que podían suministrar los modelos que Thomson manejaba, y en abril de 1911 consiguió desarrollar una teoría que explicaba las grandes al igual que las pequeñas desviaciones observadas.[53] El modelo atómico que utilizó consistía de un núcleo central (una esfera de menos de $3x10^{-12}$ centímetros de radio) que podía estar cargado positiva o negativamente,[54] rodeado de «una esfera de electrificación», de unos 10^{-8} centímetros de radio, con la misma carga, pero signo opuesto, que el núcleo. En realidad este modelo ya había sido propuesto antes, en 1904, por el físico de la Universidad de Tokio Hantaro Nagaoka, pero con pretensiones diferentes (el propio Rutherford lo reconocía en su artículo).[55] Nagaoka, en efecto, pretendía explicar los espectros observados, así como el fenómeno de la radiactividad, mientras que la problemática y base experimental de que partía Rutherford eran muy diferentes.

El modelo atómico de Rutherford/Nagaoka tenía, aun dentro de su indefinición, grandes atractivos, pero también grandes inconvenientes. Si se pensaba en él como una especie de mini-sistema planetario gobernado por fuerzas electromagnéticas, entonces existía un problema obvio: el que los electrones orbitasen en torno al núcleo a lo largo de trayectorias circulares significaba que esos mismos electrones estaban acelerados, en consecuencia deberían emitir radiación, lo que implicaba que perderían energía; esto produciría que se irían acercando al núcleo, al que terminarían cayendo irremediablemente. En otras palabras, este modelo atómico carecía de estabilidad.[56]

Era preciso, por consiguiente, encontrar otro modelo atómico, un modelo que incorporase, no obstante, aquellos rasgos que habían servido a Rutherford para explicar la difusión con partículas α y β. La solución no tardó en llegar, de la mano de un joven físico de Copenhague, Niels Bohr. Ahora bien, Bohr añadió al átomo de Rutherford/Nagaoka elementos ajenos a la física clásica. *Cuantizó* las órbitas posibles de los electrones, siguiendo el espíritu, aunque no la letra, de otras dos cuantizaciones que habían aparecido en la física en 1900 y 1905, de la mano, respectivamente, de Max Planck (1858-1947) y Albert Einstein (1879-1955). Es necesario, por consiguiente, que nos ocupemos de estas cuantizaciones antes de pasar al modelo atómico de Bohr.

Max Planck y la primera discontinuidad cuántica

La historia de la teoría cuántica está unida indisolublemente a la introducción de los cuantos de energía, llevada a cabo por Max Planck en 1900. Como veremos inmediatamente, la aparición de semejantes elementos discretos de energía en la física teórica estuvo asociada al descubrimiento de una nueva ley para la distribución de la densidad de energía de radiación de un cuerpo negro (radiación que está en equilibrio con la

materia y que por tanto absorbe y emite la misma cantidad de energía para cualquier longitud de onda), ley que también propuso Planck. Ahora bien, ¿cómo es que un físico como Planck, formado en el estudio de los escritos de Rudolf Clausius (1822-1888), y cuyo programa de investigación se centraba en los principios de la termodinámica, y más concretamente en el segundo, el del crecimiento de la entropía, terminó asociando su nombre a un problema como el de la ley de distribución de la energía de un cuerpo negro? La respuesta a esta pregunta no es difícil: Planck no dudaba en absoluto de la universalidad del crecimiento de la entropía total, pero quería, no obstante, relacionar esta irreversibilidad con otras leyes también fundamentales. En concreto quería desarrollar una teoría macroscópica basada en la termodinámica y el electromagnetismo, esperando obtener el principio de irreversibilidad como parte de esta teoría. Pero resulta que el problema de la radiación del cuerpo negro se prestaba de manera magnífica para semejante propósito. En primer lugar, lo que se tiene en este caso es un proceso de interacción entre ondas electromagnéticas y materia (la cavidad que aloja a las ondas). En segundo lugar, Planck tenía a su disposición el resultado obtenido en 1859 por Gustav Robert Kirchhoff, que asegura que la distribución de radiación en equilibrio es independiente del sistema con el que interacciona la radiación.[57] Era obvio, por su sencillez, considerar entonces la cavidad del cuerpo negro como formada por una colección de osciladores armónicos cargados.

El problema se planteaba, por consiguiente, en términos de estudiar la interacción entre ondas electromagnéticas y osciladores, para tratar de entender así, mediante procesos de difusión, cómo se obtiene el estado de equilibrio para la radiación del cuerpo negro. La esperanza de Planck era que la simetría temporal de partida en las interacciones electromagnéticas desapareciese a lo largo del proceso, generando de esta manera la irreversibilidad contenida en el segundo principio, que quedaría así

explicado al estudiar la termodinámica (la entropía, por ejemplo) de la radiación.

Que Planck no fuese capaz de desarrollar este programa, aunque en algún momento creyese que lo había conseguido, es algo que no nos interesa demasiado. Lo importante es señalar que sus investigaciones le prepararon para cuando, en octubre de 1900, Heinrich Rubens y Ferdinand Kurlbaum, colegas de Planck en Berlín, llevaron a cabo en el Physikalisch-Technische Reichsanstalt los experimentos a los que me referí en el capítulo 2, con los que demostraban que para longitudes de onda grandes la hasta entonces aceptada —aunque con reparos— ley de Wien no era correcta. Planck reaccionó entonces inmediatamente generalizando *heurísticamente* lo que hasta entonces había hecho. La modificación que introdujo en sus desarrollos le llevó a una nueva ley de distribución de la radiación del cuerpo negro, ley que presentó en la reunión de la Sociedad de Física Alemana que se celebró en Berlín el 19 de octubre de 1900.[58] El día siguiente Rubens le informaba que sus cálculos demostraban que la nueva fórmula se ajustaba perfectamente a los resultados experimentales. Casi inesperadamente, como por sorpresa, Planck se encontró con que disponía de una aparentemente correcta ley de distribución para la radiación del cuerpo negro, cuya explicación teórica, sin embargo, ignoraba.

Naturalmente, Planck se dedicó inmediatamente a la tarea de explicar teóricamente esa ley, y lo logró poco después, en diciembre.[59] Más de treinta años después, en una carta que escribió el 7 de octubre de 1931 al físico estadounidense Robert Williams Wood, recordaría aquella tarea:[60]

> Querido colega:
>
> Después de nuestra agradable cena en Trinity Hall expresó usted el deseo de que yo describiese, desde un punto de vista psicológico, las consideraciones que me llevaron a proponer la hipótesis de los cuantos de energía. Intentaré a continuación satisfacer su deseo.
>
> Resumido brevemente, se puede describir lo que hice como

> un acto de desesperación. Por naturaleza soy pacífico y rechazo toda aventura dudosa. Pero por entonces había estado luchando sin éxito durante seis años (desde 1894) con el problema del equilibrio entre radiación y materia y sabía que este problema tenía una importancia fundamental para la física; también conocía la fórmula que expresa la distribución de la energía en los espectros normales. Por consiguiente, había que encontrar, costase lo que costase, una interpretación teórica. Tenía claro que la física clásica no podía ofrecer una solución a este problema, puesto que con ella se llega a que a partir de un cierto momento toda la energía será transferida de la materia a la radiación. Para evitar esto se necesita una nueva constante que asegure que la energía se desintegre. Pero la única manera de averiguar cómo se puede lograr esto es partiendo de un punto de vista definido. En mi caso, el punto de partida fue mantener las dos leyes de la termodinámica. Hay que conservar, me parece, estas dos leyes bajo cualquier circunstancia. Por lo demás, estaba dispuesto a sacrificar cualquiera de mis convicciones anteriores sobre las leyes físicas. Boltzmann había explicado cómo se establece el equilibrio termodinámico mediante un equilibrio estadístico, y si se aplica semejante método al equilibrio entre la materia y la radiación, se encuentra que se puede evitar la continua transformación de energía en radiación suponiendo que la energía está obligada, desde el comienzo, a permanecer agrupada en ciertos cuantos. Ésta fue una suposición puramente formal y en realidad no pensé mucho en ella.

El «acto de desesperación» al que se refería Planck fue, en efecto, adoptar la formulación *estadística* de la entropía propuesta por Ludwig Boltzmann (1844-1906) en 1877. Para este físico austríaco la entropía de un sistema venía dada por la expresión $S = k \cdot lnW$, donde k es una constante (introducida precisamente por Planck posteriormente y denominada «constante de Boltzmann») y lnW el logaritmo neperiano de la probabilidad (W) de que tenga lugar el estado en cuestión.[61] Doblegarse ante semejante planteamiento, aceptar que el crecimiento de la entropía estaba asociado con probabilidades y que, por consiguiente, no era tan universal como él pensaba, debió de ser doloroso para un físico del talante de Planck, dolor sólo mitigado haciendo de este paso una «suposición puramente formal».

El hecho, en cualquier caso, es que combinando su ley de radiación con los procedimientos estadísticos de Boltzmann, Planck se vio conducido a que los osciladores cargados que suponía formaban la cavidad que contenía la radiación del cuerpo negro intercambiaban energía con la radiación de manera discontinua, a saltos. La expresión matemática para ese intercambio es la ya célebre fórmula de Planck:

$$\text{Energía} = \text{constante x frecuencia;}$$

esto es,

$$E = h \cdot \nu$$

La constante en cuestión vino en denominarse «constante de Planck», siendo representada por la letra *h*. Si hay algo que caracteriza a la teoría cuántica es esta constante.

Albert Einstein y la segunda discontinuidad cuántica

A pesar de que la naturaleza de sus contribuciones más populares (las dos teorías de la relatividad, la especial y la general) tienda a ocultarlo, Einstein fue un auténtico maestro de la termodinámica y la física estadística. Junto con Ludwig Boltzmann y Josiah Willard Gibbs (1839-1903) forma el gran triunvirato de finales del siglo XIX y comienzos del XX en este campo. Y fue precisamente gracias a su maestría en dichas disciplinas como Einstein introdujo, en un artículo titulado «Sobre un punto de vista heurístico acerca de la creación y transformación de la luz»,[62] la «segunda», la más radical, «discontinuidad cuántica», la de la radiación. (Planck, recordemos, sólo había introducido la discontinuidad en el *intercambio* de energía entre osciladores y radiación; esta última podía continuar estando descrita por las ondas continuas del electromagnetismo.)

En la introducción de su trabajo, Einstein señalaba que «las observaciones asociadas con la radiación del cuerpo negro, fluorescencia, producción de rayos catódicos

mediante luz ultravioleta y otros fenómenos relacionados, todos ellos conectados con la emisión o transformación de la luz, se entienden más fácilmente si uno supone que la energía de la luz está distribuida espacialmente de forma discontinua». Para llegar a esta conclusión obtenía en primer lugar, a partir de consideraciones termodinámicas muy generales y utilizando la ley de Wien (esto es, suponiendo radiación de frecuencias grandes), la expresión que da la variación de entropía de una radiación monocromática de energía fija, cuando se pasa de un volumen V_0 a otro V. Una vez conseguido esto, señalaba que se obtiene el mismo resultado cuando se calcula, utilizando la ley de Boltzmann, la variación de entropía que experimenta un gas ideal (colección de N partículas) cuando éste pasa de un volumen V_0 a V. La conclusión era inevitable, aunque pocos se hubieran atrevido a sugerirla: la entropía de la radiación monocromática depende del volumen «como si la radiación fuese un medio discontinuo consistente de cuantos de energía independientes». Resultado que sugirió a Einstein la idea heurística de dar «el paso obvio» de investigar «si las leyes de la emisión y transformación de la luz son también de tal naturaleza que se pueden interpretar o explicar suponiendo que la luz está formada por tales cuantos de energía». Fue entonces, sólo entonces, cuando Einstein analizó el efecto fotoeléctrico. Así nació la «segunda discontinuidad cuántica», la de la estructura de la radiación.

Un problema evidente del trabajo de Einstein residía en el hecho de que se utilizaba la ley de Wien, válida únicamente en un caso límite. Pero la dificultad más importante derivaba de la propia radicalidad de la hipótesis, que contradecía las ideas aceptadas sobre la estructura de la radiación (no se dudaba de que ésta estaba formada por ondas, *continuas,* electromagnéticas). Para que nos hagamos una idea de las actitudes que generaba la hipótesis de los cuantos de luz einsteinianos basta citar las siguientes palabras del distinguido e influyente físico estadounidense Robert Millikan:63 «Me pasé diez años de

mi vida comprobando la ecuación de Einstein de 1905 [la del efecto fotoeléctrico], y contrariamente a todas mis expectativas me vi obligado en 1915 a proclamar su indudable verificación experimental, a pesar de lo irrazonable que era, ya que parecía violar todo lo que sabíamos acerca de la interferencia de la luz».

El modelo atómico de Bohr

En 1903 un joven danés, Niels Henrik David Bohr (1885-1962), comenzaba a estudiar física en la universidad de su ciudad natal, Copenhague.[64] Ocho años más tarde obtenía el grado de doctor. La investigación que le permitió obtener este título académico significó de hecho el primer paso de un proceso que en poco más de dos años le llevaría a ampliar sustancialmente las perspectivas de la discontinuidad cuántica.

La tesis doctoral de Bohr estaba dedicada a la teoría electrónica de los metales.[65] Esta teoría, que representaba al estado metálico como un gas de electrones que se mueven más o menos libremente en el potencial creado por átomos cargados positivamente situados en una estructura regular, se remontaba a trabajos de Wilhelm Weber (1875) y Eduard Riecke (1898), aunque fue Paul Drude (1863-1906) quien más la perfeccionó (en 1900).[66] El mayor triunfo de Drude había sido deducir —utilizando entre otros recursos la teoría cinética de los gases— la ley (empírica) de Wiedemann-Franz para el cociente entre las conductividades eléctrica y térmica de los metales. Drude había supuesto que en los metales, que eran globalmente eléctricamente neutros, se movía un gas de partículas con carga negativa sobre un fondo uniforme positivo; cinco años más tarde Hendrik A. Lorentz (1853-1928) refinaba ese modelo suponiendo que las partículas negativas eran electrones, los mismos para todos los metales.[67]

A pesar de sus éxitos, la teoría de Drude-Lorentz era, obviamente, muy limitada; no se podían, por ejemplo, determinar por separado las conductividades eléctricas y

térmicas, ni explicar por qué los electrones, aunque participando en el movimiento térmico, parecían no contribuir a los calores específicos medidos; esto es, no se podía comprender algo tan básico como las propiedades eléctricas y térmicas de los metales.

Para clarificar la naturaleza de las dificultades de la teoría, Bohr desarrolló en su tesis métodos generales que le permitían deducir directamente los rasgos principales de los fenómenos a partir de supuestos básicos. Reemplazó, por ejemplo, la difusión de «esferas duras» de Lorentz por la suposición de que los átomos atraen o repelen a los electrones mediante fuerzas que dependen de r-n. De esta manera pudo entender el porqué de los fracasos de la teoría: la insuficiencia de los propios principios clásicos. Se puede decir que el rigor de su análisis condujo a Bohr, cuando apenas comenzaba su carrera científica, a la firme convicción de que era necesario modificar radicalmente la electrodinámica clásica si se querían describir los fenómenos atómicos.

Teniendo en cuenta la naturaleza de sus intereses científicos, no nos debe extrañar que finalizada su tesis doctoral el joven Niels se trasladase, a comienzos de octubre de 1911, al Laboratorio Cavendish de Cambridge, donde se encontraba J. J. Thomson, no sólo el descubridor del electrón, sino también, como hemos visto, uno de los principales «buscadores» de modelos atómicos. La elección no resultó especialmente afortunada, ya que Bohr, con su mal inglés y su tesis doctoral redactada en danés, no logró atraer la atención de Thomson. No obstante, los meses que pasó en Cambridge le sirvieron para entrar en contacto con la problemática de los modelos atómicos.

En la primavera de 1912, Bohr se trasladó a Manchester, para formar parte del grupo de Rutherford, junto a físicos y químicos del calibre de Hans Geiger, Ernest Marsden, Alexander S. Russell, Kasimir Fajans, Henry Moseley, Gyor Hevesy, James Chadwick y Charles Galton Darwin. En esta ocasión la elección no pudo ser más afortunada. Tras el artículo de 1911 de Rutherford con el

modelo planetario, era el momento apropiado para intentar ir más allá en la explicación de la estructura de la materia.

«El objeto principal de las discusiones del grupo de Manchester era las consecuencias inmediatas del descubrimiento del núcleo atómico», escribía Bohr pocos años antes de morir.[68] Pues bien, a este proyecto se unió, con una rapidez inusitada, el físico danés. En concreto, lo que hizo fue proponer una teoría de la constitución de los átomos y moléculas.

Naturalmente, en una obra como la presente es imposible pretender reconstruir de manera completa la contribución de Bohr.[69] Me limitaré, por consiguiente, a señalar algunos puntos particularmente importantes.

1) Bohr se dio cuenta de que para construir un modelo atómico satisfactorio tenía que incluir de alguna manera el cuanto de energía de Planck-Einstein. En el artículo en el que presentó sus ideas escribió:[70] «Cualquiera que sea la modificación en las leyes del movimiento de los electrones, parece necesario introducir en las leyes en cuestión una cantidad ajena a la electrodinámica clásica; esto es, la constante de Planck [h]». Para llegar a semejante conclusión, sin duda que los resultados de su tesis le ayudarían, pero hay que tener en cuenta que esta idea era ya algo que algunos físicos aceptaban. John William Nicholson (1881-1955), por ejemplo, propuso en 1911-1912 un modelo de átomo de Rutherford que pretendía explicar los espectros de la luz procedente de objetos astronómicos en el que h desempeñaba cierto papel (Nicholson imponía la cuantificación, $h/2\pi$, del momento angular).[71] Bohr conocía este modelo, aunque sus intenciones diferían sustancialmente de las de Nicholson.

   En efecto, lo que Bohr pretendía en principio era describir los átomos en su estado de menor energía posible, mientras que, al estar interesado en los espectros procedentes de estrellas, Nicholson se veía

forzado a considerar átomos excitados (átomos «continuamente rompiéndose y volviéndose a formar», escribía Bohr a Rutherford en una carta el 31 de enero de 1913).[72] Todo esto quiere decir también que su motivación venía de la química de los elementos y no de la espectroscopia. Sin embargo, sería en esta última donde su modelo se mostraría más fructífero inicialmente.

2) El siguiente paso fue el crucial. En él Bohr consideró que el átomo de hidrógeno está formado por un núcleo de carga $+e$, en torno al cual gira, siguiendo una órbita circular y a una distancia r (a determinar), un electrón ($-e$). Mezclando la mecánica clásica con la electrostática, e introduciendo una expresión que cuantizaba (esto es, permitía sólo ciertos valores, múltiplos de h) el momento angular de las órbitas electrónicas, Bohr obtenía, entre otras expresiones, una fórmula que daba r en función de $A \cdot h$, donde A era un número entero. Por tanto, el radio de las órbitas no podía disminuir (ni aumentar) gradualmente, sino de manera discontinua, *cuántica*. Se había eliminado, por consiguiente, la dificultad antes aludida de la inestabilidad electromagnética del átomo de Rutherford.
3) Uno de los principales logros del modelo atómico de Bohr fue su capacidad de explicar las relaciones matemáticas correspondientes a diferentes grupos de líneas espectrales, descubiertas más o menos jugando con números por el maestro de escuela suizo Johann Jacob Balmer (1835-1898) y por el profesor de la Universidad de Lund, Johannes Robert Rydberg (1854-1919), entre otros.[73] Pero antes de pasar a esbozar cómo introdujo Bohr este nuevo elemento en su modelo atómico, es conveniente señalar alguna de las dificultades con que se enfrentaban los físicos a comienzos del siglo XX para explicar en términos de la física clásica las características de las líneas espectrales.

Mientras los físicos pensaron en términos de la mecánica newtoniana y del electromagnetismo maxwelliano, prácticamente todas las características de las líneas espectrales eran una fuente de dificultades. Una de las ideas más extendidas era que las propiedades de los espectros sugerían que en el sistema dinámico que forma el átomo tienen lugar oscilaciones en torno a un movimiento estable, o bien vibraciones alrededor de un estado en reposo. La primera dificultad seria para esta idea fue una que ya se les presentó a Maxwell y a Kelvin. Contemplado desde un punto de vista teórico, cada línea espectral representa una vibración particular del átomo, y cada vibración debe tener, según el teorema de equipartición de la energía, una energía igual a *RT*.74 Por consiguiente, un gas con *n* líneas en su espectro debía tener una energía *nRT* por átomo únicamente. Pero la energía total de, por ejemplo, el hidrógeno es solamente *(5/2)RT* por molécula, mientras que su espectro, conocido bastante bien entonces, contiene un elevado número de líneas.

En su magistral e influyente *Report* on *Radiation and the Quantum Theory,* el físico británico James Jeans señalaba otras dificultades:75 «La incapacidad de la mecánica clásica para explicar las líneas espectrales se hace evidente si fijamos nuestra atención en el átomo de hidrógeno, que está formado solamente por dos cargas, una positiva y otra negativa, y sin embargo da lugar al altamente complicado espectro asociado con el hidrógeno. Nos vemos conducidos inmediatamente a preguntarnos: ¿cómo puede producir un sistema tan simple tantas líneas? El número de grados de libertad del sistema es solamente de seis, tres de los cuales representan su capacidad para moverse en el espacio. ¿Cómo, entonces, pueden ser posibles tantas vibraciones? Y, de nuevo, ¿por qué no aparece la energía de estas vibraciones en la medida de los calores específicos?».

Estas y otras dificultades las resolvería Bohr a comienzos de febrero de 1913.76 Fue entonces cuando el físico danés descubrió la última pieza de su rompecabezas, una pieza que le haría pasar de considerar estados

fundamentales a tratar estados *excitados*; una pieza, en suma, que insertaría los cuantos de luz einsteinianos en la misma raíz de la materia, en los átomos. El elemento en cuestión fue una fórmula que había sido propuesta en 1885 por Balmer, y que daba cuenta de las regularidades observadas en la distribución de las líneas espectrales de la luz emitida por el hidrógeno.77 «En cuanto vi la fórmula de Balmer, todo se me hizo claro», manifestaría más tarde el propio Bohr a uno de sus discípulos, Léon Rosenfeld.78 Y esta especie de revelación repentina se puede comprender (en parte) sin más que comparar las expresiones que había obtenido antes y la fórmula de Balmer. Lo que hizo Bohr fue calcular la energía que pierde un átomo cuando un electrón pasa de una órbita superior a otra inferior, y a continuación suponer que esta energía es emitida bajo la forma de un cuanto de radiación, con lo cual viene descrita por la fórmula de Planck. Igualando ambas expresiones, la de la variación de la energía y la de Planck, se obtiene una expresión que da frecuencias en función de parejas de números (los asociados a las respectivas órbitas). En consecuencia, saltos entre diferentes órbitas producen diferentes frecuencias (esto es, líneas espectrales). La espectroscopia se reducía a la física atómica.

Como muestra de algunas de las reacciones que se produjeron ante el trabajo de Bohr presentaré unas citas extraídas de entrevistas efectuadas en la década de los años sesenta dentro del proyecto *Sources for the History of Quantum Physics*.79 El británico Edward N. da Andrade, por ejemplo, manifestaba que creía que a Rutherford «le impresionó mucho el hecho de que Bohr obtuviese esas relaciones numéricas exactas. Me parece que en otro caso no habría reparado en él en absoluto. Aquello fue, por supuesto, lo que atrajo a la gente al átomo de Bohr, el hecho de que deducía las constantes fundamentales [de las expresiones de las series espectrales]». Por su parte, el físico de origen holandés que pasó largos años en Suiza y Alemania antes de trasladarse a Estados Unidos, Peter Debye, afirmaba que «todo el mundo estaba diciendo:

“Bien, ésta es una idea muy atractiva y tal vez sea cierta”. Y todos se convencieron realmente después de ver cómo se deducían las teorías de Balmer. Ésa era la manera de aplicar el cuanto. Por entonces no se dudaba de que si se quería hacer algo más moderno, se tenía que aplicar el cuanto». En realidad, Debye era demasiado optimista, o parcial. Ante la pregunta de ¿qué se pensó en Francia del átomo de Bohr antes de la Primera Guerra Mundial?, Edmond Bauer respondía que: «Nada; sólo después de la guerra. E incluso entonces hubo alguna resistencia... supongo que porque no era suficientemente clásico».

La mecánica cuántica

Aunque el propósito de Bohr era proporcionar una teoría general de la constitución de todos los átomos y moléculas, en la práctica su formulación solamente explicaba el átomo de hidrógeno. Todos sus intentos de ir más allá fracasaron; ni siquiera pudo extender su teoría al espectro del helio, con sus dos electrones. Transcurriría una docena de años antes de que se encontrase esa teoría general (pero no relativista). Entre todos los episodios de la historia de la ciencia en los que la gestación de una teoría aparece como un proceso largo y doloroso, el de la génesis de la teoría del movimiento de los objetos microscópicos, de la mecánica cuántica como se terminó denominando, destaca como el más trabajoso. Durante esa docena de años se sucedieron —con, para muchos, un alto durante los años de la Primera Guerra Mundial— descubrimientos experimentales de todo tipo y desarrollos teóricos no menos numerosos o sorprendentes. Experimentos como los de James Franck y Gustav Hertz y Otto Stern y Walter Gerlach, que demostraban, respectivamente, la existencia de los estados estacionarios postulados por Bohr y la cuantización espacial; la generalización de Arnold Sommerfeld del modelo atómico de Bohr, empleando recursos procedentes de la relatividad especial; la formulación del principio de correspondencia a cargo de Bohr; las fórmulas

semiempíricas de Alfred Landé para explicar el efecto Zeeman anómalo; los multipletes descubiertos en Londres por Miguel Catalán y explicados introduciendo un nuevo número cuántico por Sommerfeld; el experimento de Arthur Holly Compton, que ponía en evidencia la naturaleza corpuscular de la luz; la dualidad onda-corpúsculo de Louis de Broglie; la estadística desarrollada por Satyendra Nath Bose y Einstein; la teoría cuántica de la dispersión de Hendrik A. Kramers; o el principio de exclusión de Wolfgang Pauli. Estos avances culminaron en la formulación, en 1925, de una mecánica cuántica por un joven estudiante de veinticuatro años de Sommerfeld: Werner Heisenberg.[80]

La mecánica matricial

Esa teoría cuántica creada por Heisenberg se denominó, por razones que se harán evidentes inmediatamente, «mecánica matricial». Veamos cómo explicó su creador los pasos que le llevaron al umbral de la nueva mecánica cuántica:[81] «En el semestre de invierno de 1924/25 había vuelto a trabajar en Copenhague y, junto a Kramers, a seguir desarrollando la teoría de la dispersión. En relación con esto habían aparecido en las fórmulas del efecto Raman ciertas expresiones matemáticas que en la teoría clásica eran productos de la serie de Fourier, mientras que en la teoría cuántica había que sustituirlas evidentemente por análogos productos de series que tenían que ver con las amplitudes teórico-cuánticas de las líneas de emisión y absorción... Tras regresar a Gotinga en el semestre de verano de 1925, una de las primeras discusiones con Born nos llevó a la conclusión de que yo debería intentar adivinar las amplitudes e intensidades correctas del hidrógeno a partir de las correspondientes fórmulas (según el principio de correspondencia) de la teoría clásica...[82] Pero al profundizar resultó que el problema era demasiado complicado, al menos para mis habilidades matemáticas, por lo cual busqué sistemas

mecánicos más sencillos en los que dicho método prometiese más éxito. Al mismo tiempo tenía la sensación de que debía renunciar a cualquier descripción de las órbitas electrónicas; de que incluso debía reprimir conscientemente tal idea. Quería fiarlo todo a las reglas semiempíricas para la multiplicación de series de amplitudes, cuya validez se había probado en las teorías de la dispersión».

A finales de mayo y en la isla de Helgoland, a la que se había trasladado para evitar la fiebre de heno que padecía, Heisenberg pudo aplicarse más a fondo a sus investigaciones. Estudiando el oscilador no armónico unidimensional, sustituyó la coordenada posición por una tabla de amplitudes que debía corresponder a una serie de Fourier clásica, y llegó a la ecuación de movimiento del sistema; había, en otras palabras, desarrollado un cálculo para las amplitudes de transición. Le sorprendió encontrar que en las multiplicaciones de amplitudes que debía realizar A × B no fuese igual a B × A; sólo tiempo después se enteró por Max Born (1882-1970), catedrático y director del Instituto de Física Teórica de la Universidad desde 1921, de que lo que había estado haciendo era, sin saberlo, manejando y multiplicando matrices (conjuntos ordenados de números: las diferentes amplitudes de transición entre niveles). Hubo, naturalmente, que cumplir más requisitos para ver si el formalismo que había desarrollado podía aspirar a ser una mecánica cuántica, pero al final todos se verificaban. Para Heisenberg, «cabía la esperanza de haber encontrado la base de una mecánica cuántica». Cuando Born leyó el correspondiente manuscrito quedó «fascinado». El artículo fue, por consiguiente, enviado para su publicación.[83]

La mecánica cuántica matricial contenida en aquel primer artículo estaba todavía por desarrollar y formalizar. Tal tarea, en la que las habilidades matemáticas de Born, formado con David Hilbert y Felix Klein, fueron de gran ayuda, las realizó Heisenberg en colaboración con el propio Born y Pascual Jordan (1902-1980). El principal producto

de aquella colaboración fue un artículo denominado posteriormente el de los «tres hombres» (*Drei-Männer Arbeit*), en el que la mecánica matricial tomó su forma más acabada.84

La formulación de Heisenberg-Born-Jordan, altamente matemática y abstracta (recordemos que la imagen física de órbitas no figuraba entre los constructos de la teoría), no suscitó simpatías entre algunos físicos alemanes, especialmente entre los de Berlín que, con «admiración y desconfianza a la vez, observaba[n] el desarrollo de la mecánica cuántica».85 Esta postura de los «caballeros del continuo», como Heisenberg los llamaba con cierta picardía en sus cartas a Wolfgang Pauli, se debía al carácter excesivamente abstracto de la teoría, que se había formulado prescindiendo de todo tipo de modelo para la descripción de los procesos atómicos. A Einstein, el representante más prominente de los físicos de la capital alemana, el formalismo matricial de Heisenberg le parecía un «alfabeto mágico muy ingenioso, protegido por su complejidad contra cualquier intento de falsación».86 Más repelente aún les parecía a estos físicos la forma como el británico Paul Dirac, que desarrolló su propia versión de la teoría cuántica, solía presentar sus resultados.87 Einstein la comparaba con «un balanceo sobre un sendero vertiginoso entre ingenio y locura; nada de lo cual puede cogerse con las manos».88 De tono parecido eran los juicios emitidos por Laue —que después de sus éxitos con la difracción de rayos X había conseguido instalarse entre la élite berlinesa — cuando se quejaba del «mostruoso tratamiento» que Pauli había dado al problema del átomo de hidrógeno utilizando el método matricial de Heisenberg.89

Ante los sentimientos de repulsa y frustración que los trabajos de los físicos «matriciales», Heisenberg y Pauli, en especial, suscitaron entre los famosos físicos berlineses, se puede comprender el alivio que éstos —y otros— experimentaron cuando Schrödinger presentaba, menos de medio año después del descubrimiento del formalismo matricial, una mecánica ondulatoria que prometía un

retorno a la más familiar física del campo, entendiendo por tal «la esencia de todas aquellas teorías que describen los fenómenos físicos en forma causal mediante ecuaciones en derivadas parciales en el espacio y en el tiempo».[90]

La mecánica ondulatoria

El 29 de noviembre de 1924, el físico francés Louis de Broglie (1892-1987) presentaba su tesis doctoral, titulada *Recherches sur la théorie des quanta* (*Investigaciones sobre la teoría de los cuantos*) en la Facultad de Ciencias de la Universidad de París. En ella se introducía la famosa dualidad onda-corpúsculo que ya había atisbado Einstein en 1909. En palabras del propio de Broglie:[91] «Guiado por la idea de una relación general entre las nociones de frecuencia y de energía, admitimos en el presente trabajo la existencia de un fenómeno periódico de una naturaleza todavía por precisar que estaría ligado a todo pedazo aislado de energía». Las condiciones de cuantización de Sommerfeld aparecían ahora como afirmaciones acerca del número de longitudes de onda que cubren de manera exacta la órbita de un electrón alrededor del núcleo.

Una manera de entender el resultado de de Broglie era que había obtenido la mecánica (ondulatoria, en tanto en cuanto asociaba ondas al movimiento de partículas) de electrones libres que no interaccionaban. Se podía pensar que siguiendo por el camino que había abierto, se llegaría a obtener una mecánica cuántica, ondulatoria de nuevo, general. Entre los que creyeron en el enfoque del físico francés se encontraba Erwin Schrödinger (1887-1961), un austríaco que ocupaba una cátedra en Zúrich desde 1921.[92]

En una serie memorable de artículos publicados en 1926, Schrödinger desarrolló tal mecánica cuántica ondulatoria.[93] Un rasgo que distinguía de entrada la mecánica de Schrödinger de la de Heisenberg era su significado físico: al contrario que la mecánica matricial, la ondulatoria se podía *visualizar*. Y en cuanto a aparato matemático, lejos del entonces poco conocido cálculo

matricial, las ecuaciones de Schrödinger eran las familiares ecuaciones en derivadas parciales, que tan bien recogía el recién publicado (1924) libro de Richard Courant y David Hilbert, *Methoden der mathematischen Physik* (*Métodos de física matemática*). De hecho, en el artículo en el que Schrödinger estableció la relación de su teoría con la de Heisenberg él mismo se refería a las ventajas matemáticas de su método:94 «Mi teoría fue inspirada por L. de Broglie, *Ann. de Physique* (10), 3, p. 22 1925 (*Theses*, París 1924), y por breves, aunque infinitamente perspicaces, comentarios de A. Einstein, *Berl. Ber.*, 1925, p. 9 *et seq*. Al principio yo no sospechaba en absoluto que existiese alguna relación con la teoría de Heisenberg. Naturalmente, sabía de su teoría, pero me desanimaba, si no repelía, lo que me parecían métodos muy difíciles de álgebra trascendental, y por su carencia de sentido intuitivo [*Anschaulichkeit*]».

La idea física que subyacía inicialmente en los trabajos de Schrödinger fue resumida adecuadamente por el respetado físico holandés Hendrik A. Lorentz en una carta que dirigió a su colega austríaco el 27 de mayo de 1926:95

> Su conjetura de que la transformación que tendrá que experimentar nuestra dinámica será similar a la transición de la óptica de rayos a la óptica ondulatoria suena muy tentadora, pero tengo algunas dudas acerca de ella.
>
> Si le he entendido correctamente, entonces una «partícula», un electrón por ejemplo, sería comparable a un paquete de ondas que se mueve con la velocidad de grupo.

Aquellos a los que repugnaba renunciar a la máxima clásica *natura non facit saltus*, los «caballeros del continuo» mencionados antes, recibieron con entusiasmo las contribuciones e ideas de Schrödinger. Einstein estaba convencido de que Schrödinger había «realizado un avance decisivo con su formulación de la condición cuántica, de la misma manera que estoy convencido de que el camino abierto por Heisenberg-Born es erróneo»; Planck leyó sus artículos de 1926 «igual que un niño curioso escucha en suspense la solución de un rompecabezas que le ha

preocupado durante mucho tiempo, y también estoy encantado con las bellezas que son evidentes a la vista»; y Lorentz señalaba que si «tuviese que escoger ahora entre su mecánica ondulatoria y la mecánica matricial, daría preferencia a la primera, debido a su mayor claridad intuitiva».96 Pronto, sin embargo, se descubrió que la interpretación inicial de Schrödinger no se podía mantener (uno de los problemas, señalado por Lorentz, era la dispersión de los paquetes de ondas, que hacía casi imposible sostener la interpretación de las partículas —electrones— como ondas en un sistema de más de una partícula). Los problemas con la interpretación física de Schrödinger de la mecánica ondulatoria no significaban, sin embargo, que el formalismo de la teoría fuese incorrecto, solamente que había que descartar esa interpretación particular. Esto fue confirmado por el descubrimiento, debido al propio Schrödinger, de la «identidad matemática, formal» de la mecánica ondulatoria, la mecánica que resaltaba lo continuo, y la mecánica matricial, que destacaba lo discontinuo.97

Al principio, los partidarios de la mecánica matricial no recibieron con agrado la idea de que la mecánica ondulatoria representaba, en el fondo, la misma realidad física que la matricial. Heisenberg, en particular, fue muy reacio a aceptar la nueva formulación. Sin embargo, la teoría de Schrödinger terminaría imponiéndose con bastante rapidez, debido a que era mucho más fácilmente manejable. Y los antiguos proponentes del esquema alternativo terminarían también, no sólo pasándose al bando contrario, sino contribuyendo a configurar su interpretación física, una interpretación que sería muy diferente a la que Schrödinger y los caballeros del continuo habían deseado. La interpretación probabilista realizada por Born de la función de ondas, ψ (el objeto que describía los entes microscópicos), consideraba $|\psi|2$ como una medida de la densidad de probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado representado por ψ. Heisenberg demostró en 1927 sus célebres relaciones de incertidumbre, que afirman

que magnitudes canónicamente conjugadas (como la posición y el momento, o la energía y el tiempo) sólo se pueden determinar simultáneamente con una indeterminación característica (la constante de Planck): $\Delta q \cdot \Delta p \geq h$.[98] A partir de este resultado, al final de su artículo, Heisenberg extraía una conclusión con implicaciones filosóficas de largo alcance: «No hemos supuesto que la teoría cuántica es, al contrario de la física clásica, una teoría esencialmente estadística en el sentido de que sólo se pueden inferir conclusiones estadísticas de datos exactos. Ya que tal suposición se ve refutada, por ejemplo, por los conocidos experimentos de Geiger y Bothe. Sin embargo, en la formulación fuerte de la ley causal, "Si conocemos exactamente el presente, podemos predecir el futuro", no es la conclusión, sino más bien la premisa la que es falsa. *No podemos* conocer, por cuestiones de principio, el presente en todos sus detalles». Y Heisenberg concluía: «En vista de la íntima relación entre el carácter estadístico de la teoría cuántica y la imprecisión de toda percepción se puede sugerir que detrás del universo estadístico de la percepción se esconde un mundo "real" regido por la causalidad. Tales especulaciones nos parecen —y hacemos hincapié en esto— inútiles y sin sentido. Ya que la física tiene que limitarse a la descripción formal de las relaciones entre percepciones».

Con tales elementos, Niels Bohr elaboraría la denominada «interpretación de Copenhague» de la mecánica cuántica, cuya discusión, aunque enormemente interesante, nos llevaría demasiado lejos. Baste decir que la interpretación de Copenhague defiende que en la teoría atómica tenemos que considerar al observador como especialmente importante, porque la propia teoría toma su carácter peculiar en gran medida de la interferencia del observador (y sus «útiles de medida») con el objeto físico que se investiga. El que el resultado de la observación dependa de la elección de la preparación del experimento (de la situación experimental) entra en conflicto, evidentemente, con el punto de vista de que el universo «está ahí», independientemente de todos los actos de

observación. El físico norteamericano John Wheeler ha resumido con gracia y acierto el punto central de los planteamientos de Copenhague: «Ningún fenómeno elemental es un fenómeno hasta que es un fenómeno registrado (observado)».[99]

La cuestión de la interpretación de la mecánica cuántica fue durante mucho tiempo (en la actualidad no tanto) objeto de apasionados debates,[100] pero la incertidumbre u oscuridad que puede rodear su contenido epistemológico no ha sido óbice para que la física cuántica continuase progresando desde 1925. De hecho, ha constituido, hasta la fecha, una herramienta extraordinaria para abrir nuevas ventanas y posibilidades en esa complicada relación protagonizada por la naturaleza y los seres humanos. En lo que resta del presente capítulo me limitaré a, en primer lugar, introducir dos campos dependientes de la nueva física cuántica: la física del estado sólido, que ya nos ha aparecido de hecho ocasionalmente y la química cuántica; en segundo lugar me referiré a algunos de los problemas fundamentales que los científicos buscaron resolver dentro de un contexto cuántico; finalmente, introduciré la cuestión de la *Gran Ciencia*, que, aunque esbozada con el Physikalisch-Technische Reichsanstalt y la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft, comenzó a aparecer de manera más manifiesta en la década de 1930, como resultado de buscar las condiciones experimentales adecuadas con las que estudiar fenómenos a los que había conducido el desarrollo de la física del microcosmos.

La física del estado sólido

Al comentar la tesis de Bohr me referí a la teoría electrónica de los metales desarrollada por Paul Drude y Hendrik A. Lorentz, señalando que aunque explicaba algunos hechos y leyes conocidas su poder era limitado, como se encargó de demostrar Bohr (entre otros). Ahora que se tenía una nueva herramienta, la mecánica cuántica, cabía esperar que se pudiese continuar avanzando.

El primer paso en esa dirección vino en realidad con el desarrollo de la estadística propuesta independientemente en 1926 por el italiano Enrico Fermi (1901-1954) y el inglés Paul Dirac (1902-1984), basada en la introducción (en 1925) del concepto de espín para el electrón por George Uhlenbeck (1900-1988) y Samuel Goudsmit (1902-1978).101 Mientras que la estadística de Bose-Einstein servía para partículas de espín entero (como las «partículas de luz» introducidas por Einstein, a las que el químico estadounidense Gilbert N. Lewis dio el nombre de fotones), se necesitaba una estadística para partículas de espín no entero, partículas que obedecían al principio de exclusión de Pauli. En aquel momento y al margen de las cargas positivas que contuviese el núcleo atómico, la partícula de espín no entero (1/2) era el electrón, precisamente el principal protagonista de la teo ría de los metales de Drude-Lorentz. Wofgang Pauli (1900-1958) fue el primero en intentar aplicar, a finales de 1926, la nueva estadística a los metales, pero el mayor empuje procedió de su antiguo maestro: Arnold Sommerfeld (1868-1951).102 Entre 1927 y 1928 Sommerfeld de sa rro lló una teo ría semiclásica de los metales, pero no son los detalles de esa teo ría los que importan en este libro,103 sino el que en su amplio y activo Instituto, una auténtica «escuela» de física de la que surgieron a lo largo de los años generaciones de distinguidos físicos, se discutieron con profusión sus ideas. Entre los que participaron en aquellas discusiones y trabajos en Múnich se encuentran físicos como Rudolf Peierls, Hans Bethe y Linus Pauling, que más tarde, con mayor o menor intensidad, de una manera u otra, contribuyeron no sólo al de sa rro llo, sino al establecimiento como disciplina reconocida de la física del estado sólido.

Sommerfeld presentó sus primeros resultados en el Congreso Volta celebrado en Como en septiembre de 1927, al que asistieron Bohr, Born, Lorentz y otros destacados físicos de la época; poco después publicó sendos ar tícu los en *Naturwissenschaften* y *Zeitschrift für Physik*.104

Apoyándose en la ecuación cinética de Boltzmann, pudo obtener expresiones para las conductividades eléctrica y térmica; además, dedujo la ley de Wiedemann-Franz, pero en una forma que mostró acercarse más a los valores experimentales que en las formas obtenidas por Drude o Lorentz. Asimismo, estudió otros fenómenos como la emisión termoiónica y efectos galvanomagnéticos y termomagnéticos.

Las reacciones ante el trabajo de Sommerfeld fueron favorables. En febrero de 1928, Bohr escribía a William Hume-Rothery contestando a una pregunta relativa a su ya antigua tesis:105 «En la actualidad las viejas teorías basadas en la mecánica clásica difícilmente pueden pretender ofrecer algo de interés físico. De hecho, han quedado muy detrás con el reciente trabajo fundamental de Sommerfeld que acaba de publicarse en *Zeitschrift für Physik:* aunque todavía no completo,106 el trabajo de Sommerfeld significará seguramente un paso decisivo hacia un adecuado tratamiento teórico cuántico del problema metálico».

El interés por el camino tomado por Sommerfeld no se detenía en Múnich. Sus antiguos discípulos Heisenberg y Pauli, ya con sus propias cátedras y círculos en Leipzig y Zúrich, respectivamente, también se ocuparon del problema, propagando además el interés en el tema a través de sus ayudantes y de los visitantes que recibían. Incluso al otro lado del Atlántico llegó el nuevo evangelio, transmitido por el propio Sommerfeld, que en 1931 ofreció un curso de verano sobre la teoría electrónica de los metales en Michigan, al que asistió Walter Brattain, de los laboratorios Bell, con el deseo de comprender mejor la emisión termoiónica. En 1947, Brattain, junto a John Bardeen y William Shockley, descubriría el transistor.107 Ya en esta segunda mitad de la década de los años veinte se estaban sentando, inadvertidamente, las bases de la física del estado sólido en Estados Unidos. Por Múnich, Leipzig o Zúrich pasaron físicos como John Slater, Carl Eckart, William Houston, Nathaniel Frank, John van Vleck, Isidor I. Rabi, Philip Morse, William Allis o Edward Condon, que,

aunque no se dedicaran exclusiva o siquiera con demasiada intensidad a ese campo, ayudaron a que se desarrollase en Norteamérica, por no citar a aquellos centroeuropeos que terminarían instalándose también en el Nuevo Mundo: Eugene Wigner, Felix Bloch, Hans Bethe o Edward Teller.

La teoría de Sommerfeld funcionaba mejor que la de Drude-Lorentz, pero no dejaba de tener problemas. El principal era que se trataba de una teoría semiclásica, una formulación en la que a un esqueleto esencialmente compuesto por la física clásica se le habían añadido algunos elementos cuánticos (como la estadística de Fermi-Dirac). Se necesitaba una teoría realmente cuántica. Semejante teoría la desarrollaría el primer estudiante de doctorado que tuvo Heisenberg: el suizo Felix Bloch (1905-1983), que en 1933 emigró a Estados Unidos, donde se afincó definitivamente y realizó contribuciones tan destacadas como la de la resonancia magnética nuclear, por la que recibió, junto al estadounidense Edward M. Purcell (que llegó al mismo hallazgo de manera independiente), el premio Nobel de Física de 1952.

Antes de ir a doctorarse con Heisenberg en Leipzig, Bloch había estudiado en Zúrich, donde se familiarizó con la mecánica ondulatoria (incluso estuvo presente en el primer seminario que dio Schrödinger para presentar su nueva teoría).[108] Estaba, por consiguiente, en inmejorables condiciones para intentar aplicar la mecánica cuántica a problemas específicos, un sentimiento este que su asociación con Heisenberg reforzó, ya que el creador de la mecánica de matrices estaba interesado sobre todo en aplicar la reciente mecánica a cuantos más problemas mejor. Eso fue, en esencia, lo que Bloch hizo; supuso que los electrones de conducción estaban sometidos a un potencial periódico producido por el resto de los electrones y núcleos de la red, o iones (antes los electrones se tomaban como libres y los restantes electrones y núcleos prácticamente no desempeñaban ningún papel), y resolvió la correspondiente ecuación de Schrödinger ayudándose con métodos de Fourier, descubriendo que el movimiento

de esos electrones de conducción venía descrito por una onda plana modulada por una función también periódica (este resultado se conoce como «teorema de Bloch»).[109] En otras palabras, aunque no libres, los electrones se movían bastante libremente, con lo que se reproducían, pero refinándolos, los resultados de modelos anteriores. Aunque el propio Bloch no terminó de verlo con total claridad, las soluciones que obtenía llevaban a la «teoría de bandas»;[110] esto es, al concepto fundamental sobre el que se levantaría la física del estado sólido. Las soluciones obtenidas por Bloch implicaban, en efecto, que no todos los niveles energéticos eran accesibles a los electrones de conducción: existían también niveles prohibidos. Con estos hallazgos fue posible, en un período de tiempo relativamente corto (entre, aproximadamente, 1928 y 1933),[111] comprender la diferencia entre metales y aislantes, así como la naturaleza de los semiconductores o fenómenos particulares como el efecto Hall, cuya explicación había desafiado hasta entonces a los investigadores. Nacía, en definitiva, la «física del estado sólido», un término, por cierto, que aunque se había utilizado desde hacía años (por ejemplo por Walther Nernst en el ciclo de cuatro conferencias que pronunció en marzo de 1913 en el University College de Londres, publicadas como *The Theory of the Solid State*), comenzó a aparecer, bajo la rúbrica de «cuerpos sólidos», «agregados sólidos» o «estado sólido», hacia 1930. Así, en el semestre de invierno de 1930-1931 Heisenberg ofreció en Leipzig un curso titulado «Teoría cuántica de los cuerpos sólidos»; dos años después Friedrich Hund daba otro de «Teoría del estado sólido», mientras que en Zúrich, Paul Scherrer dictó en 1930 un curso sobre «Física de los estados agregados sólidos».[112]

La introducción de la física del estado sólido en Estados Unidos y Gran Bretaña

Me he referido antes a científicos que pasaron por Alemania y que luego ayudaron a implantar la física del

estado sólido en Estados Unidos. Es conveniente, sin embargo, desarrollar un poco más el tema de la introducción de esa disciplina en Norteamérica, toda vez que contiene algunas enseñanzas de índole institucional y socioeconómica que son particularmente relevantes en un libro como el presente. Aprovecharé la ocasión también para tratar la cuestión de la física del estado sólido en Gran Bretaña.

Estados Unidos

Aunque existan unos pequeños matices diferenciales, en realidad la «exportación» de la física del estado sólido a Estados Unidos constituye un apartado de la introducción de la teoría cuántica en ese país, de manera que es preciso considerar esa introducción en primer lugar.

En los años inmediatamente posteriores al desarrollo de la mecánica cuántica estudiaron en Alemania más jóvenes físicos (teóricos sobre todo) que en cualquier época anterior: muchos de los físicos (incluyendo algún químico-físico) que alcanzarían renombre más tarde, estudiaron entre 1926 y 1929 en alguno de los centros alemanes en los que se trabajaba en mecánica cuántica:[113] seis en Berlín, trece en Gotinga, ocho en Leipzig y doce en Múnich.[114] Zúrich, en Suiza, también era un lugar muy visitado: once estadounidenses pasaron por allí (de los cuales dos no visitaron centros alemanes). Por el contrario sólo cinco estuvieron únicamente en otros centros europeos (Copenhague, Cambridge y Oxford), sin pasar por alguno alemán.[115]

De esos científicos norteamericanos que fueron a estudiar mecánica cuántica a Europa, seis procedían de Harvard, cinco de Caltech, cuatro de Berkeley y otros cuatro del Massachusetts Institute of Technology (MIT), mientras el origen del resto estaba distribuido por otras universidades (Princeton, Minnesota, Columbia, Michigan, Chicago, Cornell y Yale). Algunas fundaciones ayudaron a que estos viajes fuesen posibles: el Guggenheim Memorial

Foundation Fellowship Program, inaugurado en 1925, financió el 40 por 100 de los viajes, también fue importante la colaboración del International Educational Board de la Rockefeller Foundation y el National Research Council (del que me ocuparé en el capítulo 8).

En el Viejo Mundo estos jóvenes aprendieron técnicas y vislumbraron problemas del nuevo universo cuántico. Y al regresar a su patria muchos continuaron con este tipo de intereses y tareas.116 La física de los metales, a la que, como acabamos de ver, Sommerfeld, Pauli y Bloch, entre otros, estaban dando un nuevo impulso, encontraba incentivos especialmente poderosos al otro lado del Atlántico. Estados Unidos, en efecto, participaba activamente en la dura competición internacional industrial existente en sectores como el electrónico, de comunicaciones, metalúrgico y fotográfico, en los que la física de los metales, de los sólidos en general, tenía un valor económico. Los laboratorios de investigación industrial, a los que me referí en el capítulo 2, reflejan tales intereses.

En este contexto, el desarrollo de métodos rigurosos (cuánticos) de cálculo de propiedades de sólidos de interés para la industria (como el cobre, tungsteno o diamante) resultaba ser un tema de investigación particularmente atractivo. Y a él se dedicó el activo John Slater (1900-1976) en el MIT. En los años treinta, el grupo que formó Slater, del que formaba parte, como estudiante graduado, William Shockley, otro de los futuros descubridores del transistor, se dedicó con intensidad a aplicar la mecánica cuántica al estudio de las propiedades eléctricas, térmicas y magnéticas de metales y otros materiales.117 En Princeton, el físico de origen húngaro, formado en Alemania, instalado en Estados Unidos en 1930 y futuro premio Nobel de Física, Eugene Wigner (1902-1995) enseñó las técnicas básicas, además de a Frederick Seitz (que fue su primer estudiante graduado en Estados Unidos), a John Bardeen, el miembro que nos faltaba de los descubridores del transistor (antes de ir a Princeton, Bardeen, una de las pocas personas que han

logrado obtener dos premios Nobel —uno por el transistor y otro por la superconductividad—, había estudiado en la Universidad de Wisconsin, donde, en 1928-1929, John van Vleck le había enseñado mecánica cuántica). Los primeros cálculos realistas de estructuras de bandas fueron realizados en 1933-1934 por Wigner y Seitz para el caso del sodio, en la pequeña pero prestigiosa Universidad de New Jersey.[118]

Algunas industrias apoyaron a estos grupos universitarios: General Electric, en cuyos laboratorios trabajaba Frederick Seitz, mantuvo estrechas relaciones con el Massachusetts Institute of Technology; Westinghouse e industrias locales financiaron en gran parte las escuelas de verano sobre «La física de los metales» que entre 1938 y 1941 organizó el Departamento de Física de la Universidad de Pittsburgh.

En 1940, el ya citado Frederick Seitz publicaba un libro, *The Modern Theory of Solids,* que, en palabras de John Slater, «constituyó un acontecimiento crucial en la historia e institucionalización del campo».[119] El propio Seitz se refirió en su autobiografía a su libro en los siguientes términos:[120] «En 1935, una completa libertad para investigar y unas modestas obligaciones docentes me dieron la oportunidad de lanzar un ambicioso proyecto que había estado en mi mente desde mis días de estudiante: intentar escribir una descripción coherente de los diversos aspectos de la física del estado sólido, para dar al campo la unidad que merecía. Esta integración fue posible gracias al desarrollo de la mecánica cuántica que ofrecía los medios de consolidación necesarios. El resultado, *The Modern Theory of Solids*, fue publicado por McGraw-Hill cinco años después, en 1940... Tal vez el mayor valor del libro fue que atrajo a nuevos, jóvenes, investigadores, a emprender investigaciones en el área en el período inmediatamente posterior a la guerra».

A continuación, Seitz ofrecía una interesante visión de la situación de la física del estado sólido cuando escribió su libro: «En aquella época existían tal vez veinticinco instituciones en todo el mundo que realizasen

investigaciones experimentales de una forma que pudiéramos considerar sistemática sobre las propiedades fundamentales de los sólidos. En Estados Unidos, por ejemplo, uno pensaba en el trabajo de Percy W. Bridgman en Harvard, que involucraba estudios a presiones muy elevadas, y en los de varios grupos en el MIT [Francis Bitter, con campos magnéticos fuertes; Arthur von Hippel, sobre propiedades dieléctricas de los sólidos, y Wayne A. Nottingham, en emisión termoiónica de cátodos]». Y a continuación citaba las investigaciones de Shirley Quimby (Columbia), Lee DuBridge (Rochester) y Clarence Zener (City College de Nueva York).[121] No olvidaba señalar la importancia que ya tenían para el campo los laboratorios industriales: «Los laboratorios de compañías eléctricas, tanto en Estados Unidos como en Europa, estaban implicados productivamente en la investigación de la física del estado sólido, llevando a cabo estudios sobre rectificadores de estado sólido, emisión termoiónica de filamentos calientes, y sobre el desarrollo de agentes luminiscentes para utilizar en tubos de rayos catódicos».

No sería, sin embargo, hasta finales de 1943 cuando algunos físicos y metalúrgicos de la American Physical Society comenzaron a mobilizarse a favor de crear dentro de dicha sociedad una División de Física del Estado Sólido, que sería establecida finalmente en 1947. Habría que esperar todavía más —hasta 1956— para que se fundase una revista especializada: el *Journal of the Physics and Chemistry of Solids*, dirigida por Harvey Brooks, de Harvard, a la que seguiría en 1959 la soviética *Tverfogo Tela* (*Física de los Sólidos*) y dos años más tarde la germano-oriental *Physica Status Solidi*. Finalmente, en 1960 se creaba (en Estados Unidos) *Solid State Abstract*, que marcaba lo que se puede considerar como el punto final de la institucionalización de una disciplina, la física del estado sólido, sin cuyos frutos no es posible comprender la historia general mundial de la segunda mitad del siglo xx.[122]

Gran Bretaña

El caso británico es diferente en varios sentidos. Al contrario que Estados Unidos, contaba con una mayor tradición de investigación original en la física de los fenómenos microscópicos. En muchos dominios de la física atómica y nuclear experimental no era, ciertamente, inferior a nadie. Y aunque no contaba con tantos físicos cuánticos teóricos como Alemania, tenía algunos muy buenos; Paul Dirac (sobre el que pronto diré más) era, por supuesto, el mejor, pero también estaban Ralph H. Fowler o Alan H. Wilson, que en 1933 realizó un avance importante en la teoría de los metales, al tener en cuenta que los electrones que se movían en la red periódica introducida por Bloch también se repelían entre sí. Sin embargo, la física del estado sólido tardó algo en encontrar su nido en Reino Unido.

En diciembre de 1929, Frederick Lindemann (futuro Lord Cherwell y asesor de Churchill), que había conseguido dar al Laboratorio Clarendon de Oxford un prestigio internacional, propuso en una reunión del Departamento de Investigación Científica e Industrial (institución a la que me referiré en el capítulo 8), del que formaba parte, que se debería promocionar en Gran Bretaña el estudio teórico de los metales y sus aleaciones, como una alternativa prometedora a las investigaciones puramente experimentales y metalúrgicas que se estaban llevando a cabo en el National Physical Laboratory y en otras instituciones.[123] Como en Bristol John E. Lennard-Jones ya se había ocupado de cuestiones similares, se acordó que se le proporcionarían fondos si aceptaba lanzar un programa de investigación adecuado. Lennard-Jones aceptó y solicitó una ayuda de 1.150 libras para em plear a un ayudante que «realizase una investigación teórica de algunos problemas de estado sólido con particular referencia a los metales». En la primavera de 1930 se seleccionó para ese puesto a Harry Jones, un antiguo estudiante de Ralph Fowler en Cambridge. Jones llegó a Bristol a finales de año e

inmediatamente comenzó a estudiar la literatura relevante (Bloch, Peierls, etcétera). Mientras tanto, Lennard-Jones continuó con sus intereses: la teoría molecular; esto es, no se implicó real men te en la nueva física del estado sólido, y además en 1932 aceptó la cátedra de Química Teórica de Cambridge, abandonando por consiguiente Bristol. Como sucesor se eligió a Nevill Mott (1905-1996), un joven teórico de Cambridge, que hasta entonces había contribuido muy poco en los campos en que se trabajaba en Bristol. Al llegar a Bristol, Mott se encontró con que Jones había aplicado la mecánica cuántica para explicar las estructuras cristalinas de las denominadas aleaciones de Hume-Rothery. Esto, y la situación del departamento, le animó a intentar utilizar la mecánica cuántica «para problemas que pudiesen ser de interés para la industria».[124] Estudió con detenimiento el ar tícu lo de Sommerfeld y Bethe en el *Handbuch der Physik* y tres años más tarde publicaba un libro en colaboración con Jones, *Theory of the Properties of Metals and Alloys,* en el que se ex ten dían los resultados de los dos físicos de Múnich para aleaciones. Este texto, que sería una de las primeras obras de estudio obligado para los físicos del estado sólido de todo el mundo, marcó un cambio cualitativo en el de sa rro llo de la disciplina: en él se dedicaba menos esfuerzo a establecer los fundamentos de la física del estado sólido que «a utilizar modelos aproximados para sistematizar importantes áreas de conocimiento empírico».[125] En 1977, Mott compartía el premio Nobel de Física con Philip Anderson y John van Vleck «por sus investigaciones teóricas fundamentales sobre la estructura magnética de sistemas magnéticos y de sor de na dos», con lo que culminaba una larga carrera dedicada a la física del estado sólido.

La química cuántica

Prácticamente al mismo tiempo que surgía la física del estado sólido, nacía también la química cuántica, cuyo origen se asocia generalmente a la publicación en 1927 del

célebre ar tícu lo de Walter Heitler y Fritz London en el que estudiaban la molécula de hidrógeno, aunque sin olvidar las contribuciones previas o prácticamente simultáneas de Friedrich Hund, Max Born y Robert Oppenheimer, Linus Pauling y Robert S. Mulliken.126 De hecho, existen estrechas relaciones entre la *física* cuántica y la *química* cuántica, más marcadas en la primera época, cuando algunos científicos contribuyeron al establecimiento de ambos campos. Era evidente desde el primer momento que aunque pudiese ser complicado —incluso tan complicado que condujese a problemas matemáticos imposibles de resolver— la mecánica cuántica suministraba la herramienta teórica para comprender los fenómenos descritos por la química. El gran Linus Pauling (1901-1994), «el Einstein de la química», como se le ha llegado a llamar,127 expresó esta idea al manifestar que la «química es un fenómeno cuántico, o, mejor, una gran colección de fenómenos cuánticos».128

La naturaleza del enlace químico fue uno de los primeros problemas en ser abordados con la nueva mecánica cuántica ondulatoria (la versión de mecánica cuántica, recordemos, desarrollada por Schrödinger). Entre los primeros en contribuir de manera destacada (después de 1925-1926) al desarrollo del modelo orbital-molecular de enlace químico se encuentran Friedrich Hund, Robert Mulliken y John Lennard-Jones, quienes con Heitler y London y las técnicas desarrolladas por el británico Douglas R. Hartree y el soviético Vladimir A. Fock despejaron el camino para los trabajos de Pauling sobre la naturaleza del enlace químico, trabajos condensados luego en su gran libro, *The Nature of the Chemical Bond* (1939).129

Junto a Pauling,130 fue Slater quien más contribuyó al establecimiento de la química cuántica como una disciplina, independientemente del hecho de que este último fuera un físico. En su caso se ve con gran claridad la relación, que acabo de mencionar, entre física del estado sólido y química cuántica. En este sentido, el historiador Silvan Schweber ha señalado que «Slater nunca consideró la

estructura molecular y la física del estado sólido como dos campos separados».[131] Que así era se puede ver en la carta que el propio Slater envió a Percy W. Bridgman el 22 de julio de 1929: «[La mayoría de los físicos] se dedican a estudiar los metales desde el lado equivocado, esto es, intentando inventar teorías para explicar rasgos bastante concretos, en lugar de ver el problema en su conjunto. Este verano voy a tratar de avanzar en la dirección opuesta. Recordarás que quiero desarrollar métodos generales para resolver problemas en sólidos. Creo que la mejor forma de empezar es tomar un problema y dedicarse a él, y he decidido ir hacia el más obvio: las fuerzas de cohesión en metales, con la compresibilidad, estructura cristalina y todo lo que lleva asociado... Lo primero que intentaré hacer es averiguar experimentalmente lo más que pueda acerca de las fuerzas, a partir del calor de disociación, compresibilidad, etcétera, tratando de ver cuánto se solapan los átomos en el cristal, si existe alguna relación entre solapamiento y conductividad».

Las iniciativas y liderazgo de Pauling y Slater ayudaron a que la química cuántica floreciese en el Nuevo Mundo más que en otros lugares, pero no se puede explicar ese florecimiento únicamente basándose en dos personas, no importa lo capaces que fueran —y, realmente, lo fueron—. Como he señalado, la creación de la mecánica cuántica coincidió con un momento en el que las ciencias físico-químicas estaban alcanzando en Estados Unidos su mayoría de edad. Y las nuevas ideas atrajeron a los recién llegados, a la juventud, confirmando en este caso esta máxima casi universalmente aceptada. Además de los ya citados, John van Vleck, Harold Urey, Edward Condon, David Dennison, Ralph Kroning, Isidor I. Rabi, Clarence Zener, Philip M. Morse, Henry Eyring, John G. Kirkwood, George E. Kimball, E. Bright Wilson, Joseph Hirschfelder u Oscar Rice, en un momento u otro, realizaron aportaciones a la química cuántica.

Antes de avanzar en la dirección de la física del estado sólido y la química cuántica, avances que me han llevado a abandonar, momentáneamente, una secuencia temporal más rigurosa, me estaba ocupando de cómo los físicos (y algunos químicos también) profundizaban en el conocimiento de las estructuras y componentes básicos del microcosmos. La formulación de la mecánica matricial y de la mecánica ondulatoria constituyó, evidentemente, un paso importantísimo en esa dirección, pero en más de un sentido no fue sino el primer momento de una carrera que estaba comenzando. Se suponía, por ejemplo que los constituyentes elementales que forman la materia eran sólo dos: electrones y protones,[132] entendidos estos últimos como asociados, de una manera no demasiada clara, a la carga positiva que indudablemente existía en el núcleo de Rutherford-Bohr (de hecho, inicialmente la mecánica cuántica era real men te una teo ría de los «sistemas electrónicos», que nadie aplicaba al núcleo). Cuando en su célebre *Bakerian Lecture* de 1920, Rutherford comenzó a manejar la idea de lo que terminaría siendo el «neutrón» (un término introducido en rea li dad por William Sutherland en 1899), pensaba en él como compuesto esencialmente de un electrón y un protón, una «especie de doblete neutro».[133] Aunque a instancias de Rutherford la búsqueda de esta hipotética partícula —o «estado»— comenzó inmediatamente en el Cavendish, no sería hasta 1932 cuando lo descubrió James Chadwick, uno de los discípulos de Rutherford.[134] E incluso entonces se dudó durante algún tiempo de si entenderla como una partícula tan fundamental como el electrón y el protón o como un doblete «electrón-protón». En favor de que el núcleo contuviese electrones estaba la desintegración β (en la que un núcleo emite un electrón), ya que se había demostrado que los rayos β eran electrones, aunque por otra parte también causaba problemas su inclusión en el núcleo: en 1929 Walther Heitler y Gerhard Herzberg habían señalado

que en el caso de que el núcleo contuviese protones y electrones, la molécula de nitrógeno, N_2, debería contener catorce protones y siete electrones, demostrando al mismo tiempo que obedecía a la estadística de Bose-Einstein; poco después, sin embargo, Eugene Wigner probaba que toda partícula compuesta (tal como la molécula de nitrógeno) debía obedecer a la estadística de Fermi-Dirac si contenía un número impar de partículas, y a la de Bose-Einstein en caso contrario. Esto implicaba que N_2 debía seguir a la estadística de Fermi-Dirac, en contra del resultado de Heitler y Herzberg.[135]

La incertidumbre existente es patente incluso en los tres artículos seminales publicados por Heisenberg poco más de tres meses después de que Chadwick anunciase su descubrimiento. En estos artículos, que contienen la teoría atómico-nuclear («física nuclear») que se aceptó durante mucho tiempo, e incluso en la actualidad hasta cierta aproximación, Heisenberg trataba en ocasiones el neutrón como una partícula independiente y en otras como una partícula compuesta por protones y electrones.[136] Pero el caso es que en un período relativamente corto el neutrón se aceptó como una partícula elemental, aunque ocasionalmente se siguiese resucitando la vieja idea.[137]

Antes incluso de que se demostrase la existencia del neutrón, ya se habían encontrado otras partículas.[138] La primera de éstas, el positrón, tiene una historia compleja que merece la pena esbozar. Su origen está relacionado con la ecuación relativista del electrón que el gran físico inglés Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984) propuso en 1928.[139] Esta ecuación (cuatro ecuaciones en rea li dad) reunía relatividad especial y teo ría cuántica explicando las propiedades del electrón, incluyendo el espín. El problema era que también in cluía soluciones que correspondían a estados de energía negativa, ante los cuales Dirac no sabía qué decir. Pronto tendría algunas ideas al respecto: supuso que «*todos los estados de energía negativa están ocupados, excepto acaso unos pocos de pequeña velocidad*. Todos los electrones de energía positiva tendrán una probabilidad

muy pequeña de saltar a estados de energía negativa y por tanto se comportarán como los electrones cuyo comportamiento se observa en el laboratorio. Tendremos un número infinito de electrones en estados de energía negativa, y de hecho existirá un número infinito de ellos en el mundo por unidad de volumen, pero si su distribución es perfectamente uniforme de be ríamos esperar que fuesen completamente inobservables. *Solamente po - dríamos esperar poder observar pequeñas desviaciones de la perfecta uniformidad, debidas a que algunos de los estados de energía negativa quedasen sin ocupar*».[140] Esos estados sin ocupar, o «huecos», de bían ser para él protones: «Nos vemos conducidos por consiguiente a la conclusión de que *los huecos en la distribución de electrones de energía negativa son los protones*».[141] De esta forma, su ecuación de 1928 «explicaría» las dos partículas elementales conocidas entonces (aparte de los fotones): electrones y protones. Exis tían, sin embargo, sólidos argumentos teó ri cos que im pe dían defender que los huecos en el mar de energía negativa pudiesen asimilarse a protones: por razones de simetría de be rían, como señaló Hermann Weyl,[142] tener la misma masa que los electrones, pero los protones son mucho más pesados. Este hecho (y otros) llevó a Dirac a proponer otra idea, aunque lo hizo de pasada en un ar tícu lo que publicó en 1931:[143] «Parece por tanto que debemos abandonar la identificación de los huecos con protones y debemos encontrar otra interpretación para ellos... Un hueco, si existiese uno, sería un nuevo tipo de partícula, desconocida para la física experimental, que tiene la misma masa pero carga opuesta que el electrón. Podríamos llamar a esta partícula un anti-electrón».

La predicción, ciertamente vaga y bastante oscura, de Dirac fue confirmada por el estadounidense Carl D. Anderson (1905-1991), del California Institute of Technology. El 2 de agosto de 1932, mientras fotografiaba trazas de rayos cósmicos utilizando una cámara de niebla que él mismo había diseñado en 1930 junto a Robert Millikan, Anderson tomó una que sólo parecía poder ser

interpretada suponiendo la existencia de una partícula con carga positiva y con una masa del orden de la que tenía el electrón. Estudios posteriores confirmaron esta hipótesis, que fue anunciada primero, aunque con precauciones, en un artículo publicado el 9 de septiembre de 1932 en *Science*, y luego, ya con más firmeza, en otro enviado a *Physical Review* en febrero de 1933 con un título que habla por sí solo: «El electrón positivo».144 En él no se hacía ninguna mención a Dirac, cuyas ideas Anderson no conocía. El hecho es, no obstante, que había nacido la antimateria, y que con ella la física «de partículas elementales» recibía un impulso definitivo, impulso que se consolidó cuando, poco después, empezaron a llegar los mesones, el primero de los cuales fue previsto teóricamente en 1935 por el físico japonés Hideki Yukawa (1907-1981). La idea de Yukawa era que los mesones constituían el «vehículo» (el *cuanto*) mediante el cual protones y neutrones interaccionaban (interacción fuerte), lo mismo que los fotones «transmitían» la interacción electromagnética (la diferencia era que mientras que el fotón no tiene masa, y por lo tanto su alcance es infinito, al mesón sí se le suponía masivo, para poder explicar el corto alcance de las fuerzas nucleares).145 En el futuro, la asociación de interacciones con intercambio de cuantos sería una característica general de todas las teorías cuánticas de campos.

La primera de estas teo rías en ser de sa rro lla da fue la electrodinámica cuántica, cuyos orígenes se deben situar en un ar tícu lo que Dirac publicó en 1927, y en cuyo de sa rro llo intervinieron de forma prominente, entre otros, Enrico Fermi, Pascual Jordan, Eugene Wigner, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Victor Weisskopf, Polykarp Kusch, Willis Lamb, Hans Bethe, Freeman Dyson, Julian Schwinger, Sin-itiro Tomonaga y Richard Feynman.146 Por sus contribuciones a la forma final de la teo ría (contribuciones rea li za das en la década de 1940, y entre las que destacan las técnicas de renormalización que introdujeron para evitar los infinitos que plagaban versiones previas), los tres últimos citados —Schwinger,

Tomonaga y Feynman— recibieron el premio Nobel de Física correspondiente a 1965. Hasta la fecha, una de las predicciones de la electrodinámica cuántica constituye el mejor acuerdo entre teo ría y observación existente en la ciencia: se trata del momento magnético anómalo del electrón, cuyo valor observado es (en unidades $eh/4\pi mc$) 1,00115965219, mientras que el que se deduce de la teo ría es 1,00115965217.

Naturalmente, la electrodinámica cuántica únicamente cubría un aspecto de la rea li dad física, la relativa a la interacción electromagnética. Quedaban por cuantizar las tres fuerzas restantes conocidas: la fuerte (la que mantiene unidos a los componentes de los nú cleos de los átomos), la débil (responsable de algunos procesos radiactivos) y la gravitacional. La última permanece hasta la fecha sin encontrar su modelo cuántico, siendo descrita por una teo ría clásica, la relatividad general, mientras para la primera, la fuerte, se de sa rro lló, algunas décadas más tarde, la denominada cromodinámica cuántica, cuyos componentes básicos son los quarks y los gluones. En cuanto a la débil, halló su acomodo cuántico en una síntesis que incorporaba también la fuerza electromagnética: la teo ría electrodébil, en cuya formulación intervinieron de forma decisiva (e independiente) Sheldon Glashow, Abdus Salam y Steven Weinberg, que recibieron el premio Nobel de Física de 1979 por sus aportaciones. Con estos elementos se constituiría el denominado «modelo estándar» de partículas elementales, una teoría cuántica de campos que aunque sabemos que no puede ser la respuesta definitiva (incluso aunque no pensásemos en el problema de la gravitación), constituye una de las construcciones científicas más poderosas jamás creadas.147

Pero no es necesario continuar por este camino, que, además, nos está llevando a unos años que no corresponden al presente capítulo.148 Con los ejemplos que he ofrecido hasta el momento se puede apreciar que el mundo cuántico resultó ser más variado y complicado de lo que se esperaba, un mundo habitado por campos, indeterminaciones,

simetrías, probabilidades, aniquilaciones y creaciones de partículas, al igual que «vacíos» que no eran tales y que fluctuaban afectando a la materia en su entorno. Sí quiero, sin embargo, para finalizar este capítulo, referirme a una cuestión ligada con los desarrollos que acabo de exponer y que hacia mediados de este siglo caracterizaría a una parte importante de la actividad científica, especialmente en la física.

La *Gran Ciencia*: Lawrence y el ciclotrón

En 1911 Rutherford había conseguido elaborar su modelo atómico ayudándose de un proyectil de cierta energía: las partículas α. Durante mucho tiempo estas partículas serían el único medio de perturbar de manera controlada el desconocido mundo del microcosmos, con el inconveniente de que para la producción de tales partículas-proyectiles se estaba a merced de elementos que fuesen radiactivos de manera natural. Esta limitación se hizo más notoria en 1919 cuando Rutherford abrió otro campo, el de las transformaciones nucleares, al estudiar la reacción $N_{14} + \alpha \rightarrow O_{17} + p$ (esto es, un núcleo de nitrógeno absorbe una partícula α, emitiendo un protón y transformándose en un núcleo de oxígeno).149 Las fuentes radiactivas de que se disponía eran demasiado débiles para seguir penetrando en los misterios de los nú cleos; un gramo de radio, por ejemplo, producía, aparte de otros productos de su desintegración, 37.000 millones de partículas α por segundo, de las cuales una de cada 100.000 producía una transformación; demasiado pocas para que se pudiesen separar químicamente las sustancias generadas y examinar así los productos. Además, las energías de estas partículas α eran apenas suficientes para que fuesen capaces de superar la repulsión eléctrica de los nú cleos a los que se di ri gían. El grupo de Rutherford en el Cavendish descubrió que cuanto más rápidamente viajasen las partículas α, más transformaciones generaban. Era, por consiguiente, urgente conseguir máquinas que aumentasen el número y la

velocidad de las partículas. Y como estaban cargadas, una forma era someterlas a fuertes diferencias de potencial.

Antes de la Primera Guerra Mundial, no se dis po nían de medios para avanzar mucho en semejante dirección. A partir de la década de 1920 ya comenzaron a aparecer algunos aparatos. En Cambridge, John D. Cockcroft y Ernest T. S. Walton utilizaron un multiplicador voltaico que les proporcionó los 500 kV (1 kV = 1.000 voltios) que necesitaron para ser los primeros en observar, en 1932, la desintegración artificial de átomos de litio en dos partículas α.[150] Por otra parte, en el Departamento de Magnetismo Terrestre de la Carnegie Institution de Wash ing ton, Merle Tuve empleó, hacia 1928, un transformador inventado por Nikola Tesla, con el que alcanzó los tres millones de voltios. En colaboración con Gregory Breit, Tuve utilizó este método para acelerar protones y electrones. Tras trabajar durante un breve período de tiempo en una planta eléctrica en Alabama, Robert J. van de Graaff diseñó su ge nerador electrostático, y después de permanecer un año en Oxford con una beca, lo adaptó en Princeton (adonde llegó en 1928) para la aceleración de partículas. Pronto su prototipo alcanzó los 80 kilovoltios (kV), llegando en 1931 a los 750 kV, y utilizando dos esferas se podía conseguir una diferencia de potencial de 1,5 MV (1 MV = 1.000 kV). En 1937 ya exis tían generadores de Van de Graaff de cerca de cinco metros de altura, que alcanzaban los cinco millones de voltios. En 1933, Tuve y su grupo utilizaron un generador de Van de Graaff de un millón de voltios junto al tubo de descarga que ellos mismos habían perfeccionado y observaron la desintegración del litio y del boro. Pero la iniciativa más importante, la que terminaría desarrollándose más y marcando una época de la física, fue la asociada al nombre de Ernest Orlando Lawrence (1901-1958).[151]

Después de graduarse en Yale, Lawrence fue contratado como profesor asociado de física por Berkeley en 1928. El año siguiente, mientras ojeaba la revista *Archiv für Elektrotechnik,* se encontró con un artículo (que coincidía

casi en su totalidad con su tesis doctoral de 1927) del ingeniero noruego Rolf Wideröe (1902-1996), estudiante de doctorado en el Politécnico de Aquisgrán, cuyas ilustraciones (Lawrence sabía poco alemán) le sugirieron la idea del ciclotrón.[152] Lo que Wideröe —que manejaba ideas parecidas desde al menos 1922— había hecho era construir un tubo *lineal* para acelerar partículas, dividido en dos partes y alimentado por una señal eléctrica alterna de 25.000 voltios (en 1922, estando en Karlsruhe, había considerado tubos de geometría circular, que denominó «*Straahtransformator*», o «transformador de rayo»). Cuando las partículas cargadas entraban en el tubo, llegaban a la primera zona en la que el campo eléctrico las aceleraba con un empuje de 25.000 voltios; en este momento, el campo en la segunda zona apuntaba en la dirección contraria, pero cuando las partículas en cuestión llegaban a esa segunda zona, el campo había cambiado de signo con lo que obtenían otros 25.000 voltios de empuje; en total 50.000, a partir de una diferencia de potencial de 25.000. En esencia, lo que Lawrence hizo fue centrarse en las geometrías circulares inicialmente consideradas por Wideröe, pero con varios avances, uno de ellos la utilización de un campo magnético que permitía que las partículas se moviesen siguiendo trayectorias circulares; haciendo que el campo eléctrico invirtiera su polaridad cada media vuelta para que el empuje tangencial fuera el adecuado, se conseguía que las partículas fuesen aumentando su energía con cada revolución. Naturalmente, al ir moviéndose más deprisa las partículas también irían describiendo círculos más amplios en cada vuelta, pero independientemente de lo rápido que se movieran resultaba que siempre tardaban el mismo tiempo en cada revolución, lo que permitía mantener la misma frecuencia de inversión del voltaje, que así siempre estaba en resonancia con los ciclos de la partícula.[153] Este «principio de resonancia» fue en realidad lo que posibilitó la construcción del ciclotrón, un término éste, por cierto, que Lawrence utilizó durante un tiempo de manera informal, prefiriendo en las notas más formales el de

«acelerador de resonancia magnética» (hasta 1936 no se estableció «ciclotrón» como el nombre oficial).

Ahora bien, una cosa era la teoría y otra la realidad, y no fue fácil construir un ciclotrón que funcionase. En semejante tarea, Lawrence contó con la colaboración de sus estudiantes, especialmente con la de Stanley Livingston, que dedicó su investigación doctoral a este fin. A finales de 1930 Lawrence y Livingston completaban la construcción (en la que predominaba lo artesanal: el coste fue de unos 25 dólares) del primer ciclotrón: medía unos 12 centímetros de diámetro. El 2 de enero de 1931 lo probaron (aplicando un voltaje de 2.000 voltios), alcanzando con él proyectiles con energías de 80 kV.

Enseguida, Lawrence anunció que esperaba poder alcanzar el millón de voltios de energía, e incluso más, si se le facilitaba la construcción de aparatos más elaborados. El presidente de la universidad reaccionó nombrando catedrático (*full professor*) a Lawrence, a pesar de la oposición de los miembros no científicos del claustro. Tenía entonces sólo veintinueve años.

A partir de aquel momento comenzó una de las carreras más intensas y, en diversos sentidos, innovadora de la historia de la ciencia. Innovadora no tanto por las ideas científicas a que hubo que recurrir —aunque en ocasiones sí que se tuvo que recurrir a ellas—, sino por la metodología, por el talante con que hubo que afrontar la empresa de la construcción de ciclotrones. Para poder construir esas máquinas se necesitó un carácter como el de Lawrence: emprendedor, ambicioso, mirando siempre hacia adelante, hacia máquinas cada vez más poderosas, dispuesto a buscar recursos económicos para financiar sus proyectos, abierto y conocedor de la técnica. En la dirección que la realidad física impuso a la investigación científica en el dominio de las partículas elementales, de las «altas energías», las cualidades de Lawrence resultaron ser tremendamente convenientes, ya que lejos de agotarse con electrones, protones, neutrones, fotones, positrones, neutrinos y mesones, la materia continuó reaccionando ante cada

nuevo «asalto» energético por parte de los físicos, mostrando más elementos, nuevas partículas elementales. Se necesitaba una realidad física como ésa para imponerse la tarea de construir máquinas cada vez más poderosas, más grandes (la *Gran Ciencia*),154 pero también a alguien como Lawrence para establecer el modelo de cómo dirigir, de cómo manejar, esa, en este sentido, nueva ciencia. (Es interesante señalar que Lawrence también se preocupó de sacar patentes de sus diseños de aceleradores, aunque nunca reclamó los royalties que le pudieron haber correspondido.)

En la primavera de 1931, Lawrence consiguió una beca de 1.000 dólares del National Research Council. En febrero de 1932, y de nuevo con la ayuda de Livingston, lograba poner en funcionamiento otro ciclotrón (de poco menos de 30 centímetros de diámetro) que, tal y como había prometido, alcanzaba 1.220.000 voltios, y ello aplicando un voltaje máximo de sólo 4.000 voltios.155 Pocas semanas después llegaba la noticia de que en el Cavendish, Cockcroft y Walton habían conseguido la primera desintegración artificial, para la que habían necesitado únicamente 125.000 voltios, un voltaje que hacía mucho estaba al alcance del grupo de Berkeley; la diferencia es que para Lawrence la meta era alcanzar el millón de voltios, no estando todavía interesado en utilizar su máquina para potencias menores. No obstante, Lawrence reaccionó rápidamente y pocos meses después se utilizaba el ciclotrón para observar desintegraciones, publicándose los primeros resultados en octubre de 1932.

El mismo mes que entraba en funcionamiento este ciclotrón de Berkeley, Harold Urey y sus colaboradores (F. G. Brickwedde y G. M. Murphy) de la Universidad de Columbia, en Nueva York, demostraban la existencia de un isótopo (variedad de un elemento con el mismo número de protones y de electrones, pero no de neutrones) del hidrógeno, dos veces más pesado que el ordinario, al que se le llamó *deuterio*.156 Este descubrimiento también tuvo repercusiones para el programa de Lawrence, ya que

aunque no se trata de una partícula elemental, el deuterón puede, al igual que las partículas α, ser utilizado como «desintegrador» nuclear. En marzo de 1933, el químico-físico (y padre de la teoría del enlace covalente) Gilbert N. Lewis, colega de Lawrence en Berkeley, que disponía del mayor depósito de agua pesada (compuesta de deuterones) del mundo,157 proporcionó a Lawrence muestras suficientes para producir (mediante un proceso de electrólisis) deuterones para utilizar como proyectiles en el nuevo ciclotrón, que ya antes de que funcionase el de 30 centímetros estaba planeando. Este nuevo ciclotrón —de 70 centímetros— entraría en funcionamiento en diciembre de 1932 y al utilizar los deuterones en él, dirigiéndoles hacia un blanco de litio, se encontró que eran diez veces más poderosos como «desintegradores» que los protones (se producían partículas α con una energía superior a cualquiera de las observadas hasta entonces en elementos radiactivos naturales). Para aprovechar todo esto se abrió un amplio programa de investigación basado en los deuterones, que de hecho llevó a que en 1936 —el mismo año en que la Universidad de California creó oficialmente, para Lawrence y sus aparatos, un laboratorio especial, el Radiation Laboratory, como una entidad independiente del Departamento de Física— se modificase el ciclotrón aumentándole hasta alcanzar un tamaño de casi un metro. Con esta nueva máquina se midió el momento magnético del neutrón y se produjo, aunque inadvertidamente, el primer elemento artificial, el tecnecio (denominado así para conmemorar el hecho de que fue el primer elemento artificial, esto es, que se necesitó de la ayuda de la «técnica» para producirlo). En efecto, en el verano de 1936, Emilio Segrè, a quien Enrico Fermi había introducido en el mundo de la física del microcosmos y que acababa de ser nombrado catedrático de Física en la Universidad de Palermo, visitó Berkeley.158 Cuando regresó a Italia llevaba consigo unos trozos de banda de cobre que habían sido bombardeados en el ciclotrón, y que analizó con sus colaboradores. Poco después solicitaba más cobre a

Lawrence, señalando que se lo podían mandar por carta. Entre tanto se había abierto el ciclotrón para efectuar algunas reparaciones y Lawrence envió a su colega italiano no sólo más cobre, sino también una cinta de molibdeno que tapaba cierta salida, de la que no se esperaba obtener ninguna novedad. Estaban equivocados. Segrè y Carlo Perrier, profesor de Mineralogía en Palermo, demostraron que contenía un nuevo elemento, el número 43 de la tabla periódica, el tecnecio, que pasó a ocupar uno de los cuatro lugares todavía vacíos en la tabla. En el artículo en el que presentaban las propiedades radioquímicas del tecnecio, Perrier y Segrè expresaban su fe en el ciclotrón:159 «Esperamos también que esta investigación realizada meses después del final de la irradiación y a miles de kilómetros del ciclotrón pueda ayudar a mostrar las tremendas posibilidades de este instrumento».

En 1939, el año en que Alemania provocó el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, Berkeley ya contaba con un ciclotrón de metro y medio de diámetro en el que los electrones podían alcanzar los 16 MeV. Y en septiembre de ese año Lawrence anunciaba planes para construir uno nuevo que llegase a los 100 MV. En diciembre recibía el premio Nobel de Física por «la invención del ciclotrón», y en abril de 1940 la Fundación Rockefeller donaba 1,4 millones de dólares para la construcción de esa nueva máquina, el último de sus ciclotrones, que iba a tener más de cuatro metros y medio de diámetro. La *Gran Ciencia* que se estaba desarrollando en Berkeley necesitaba, efectivamente, de mecenas para seguir adelante, y todavía faltaba un tiempo para llegar a la satisfactoria situación de, incluso, desahogo económico que, como veremos en el capítulo 11, traería la Segunda Guerra Mundial y la posguerra.

La ayuda de la Fundación Rockefeller en 1940 muestra de hecho que los peores tiempos habían pasado. Hasta 1935, la Fundación había rechazado al menos seis solicitudes de financiación de aceleradores.160 Para Warren Weaver, director desde 1932 del Departamento de Ciencias

Naturales de la Fundación, esta área de investigación era demasiado nueva y demasiado fundamental (o teórica) para los gustos de su institución. Lo que le hizo cambiar de opinión fueron las aplicaciones biomédicas de los ciclotrones.

Como señalé, Lawrence reunía las cualidades necesarias para poder llevar adelante sus grandes proyectos. Era, o podía serlo, mitad científico mitad empresario. Como empresario advirtió pronto que su máquina tenía aplicaciones médicas y que éstas podían serle de utilidad.161 En un informe que preparó en 1934 señalaba que el sodio-24, que era capaz de producir con cierta facilidad bombardeando rocas de sal con deuterones, podía tener importantes aplicaciones comerciales. Este elemento recorre, en efecto, el cuerpo humano como el sodio ordinario, pero su vida media, 15 horas, era adecuada para realizar estudios sobre la circulación de la sangre: una vez ingeridas cantidades muy pequeñas se comprobaba con un contador Geiger que, por ejemplo, esta sustancia radiactiva llegaba a una mano en unos pocos minutos. Aunque también se le utilizó para diagnosticar algunos desórdenes vasculares, el sodio-24 no hizo, sin embargo, honor a las esperanzas que Lawrence había depositado en él. Otros radioelementos generados en el ciclotrón sí lo harían.162 El fósforo-32 fue utilizado con éxito en el tratamiento de la leucemia y en la enfermedad de Hodgkin; el yodo131 para combatir problemas de tiroides, el cobalto-60 en la quimioterapia del cáncer y el tecnecio-99 para diagnosticar el cáncer.

Estos nuevos horizontes que se vislumbraban dieron popularidad a los ciclotrones y, como decía antes, la Fundación Rockefeller, siempre interesada en los desarrollos médicos, venció sus reparos. Entre 1935 y 1945 apoyó nueve proyectos de acelerador, lo que significa uno de cada seis de los que se construyeron. Los primeros ciclotrones para los que aportó dinero fueron para los laboratorios de Niels Bohr en Copenhague y de Frédéric Joliot-Curie en París, en los que la parte física y la

biomédica estaban equilibradas. A estos proyectos europeos le siguieron a finales de la década de 1930 cuatro en Estados Unidos, con fines predominantemente biomédicos: en las universidades de Washington, Minnesota, Rochester y California. Y en 1940, Berkeley recibió la gran ayuda que ya mencioné.[163]

Capítulo 7

EL PODER DE LAS IDEAS (II): ALBERT EINSTEIN

ALBERT EINSTEIN: EL PERSONAJE DEL SIGLO XX

No es imposible que sobre Albert Einstein (1879-1955), el físico cuyas aportaciones contribuyeron, más que las de cualquier otro científico de su tiempo, a cambiar la faz de la ciencia del siglo XX, se haya escrito más que acerca de cualquier otro científico de la historia de la ciencia. Ya sólo este hecho, o posibilidad, sugiere lo famoso que ha sido (y continúa siendo), y la fama tiene algo que ver con el poder, al menos con algunas de sus facetas. Uno de los indicadores que muestra lo influyente que fue es el hecho de que en número del 31 de diciembre de 1999 la revista estadounidense *Time* lo calificase como *Person of the Century* (*Personaje del siglo*). Quedaron finalistas Franklin Delano Roosevelt y Mohandas Gandhi. Tres personajes perfectamente adecuados a los tres grandes apartados que caracterizaron el siglo XX: «Ciencia y tecnología», «Democracia» y «Derechos civiles».

En el artículo en el que uno de los editores de la revista, Walter Isaacson, justificaba la elección, se lee:

> Es difícil comparar la influencia de políticos con la de científicos. Sin embargo, nos damos cuenta de que existen algunas épocas que fueron definidas especialmente por sus políticas, otras por su cultura, y otras por sus avances científicos.
>
> El siglo XVIII, por ejemplo, estuvo marcado claramente por la política: sólo en 1776, están Thomas Jefferson y Benjamin Franklin escribiendo la Declaración de Independencia, Adam Smith publicando *The Wealth of Nations* [*La riqueza de las naciones*] y George Washington dirigiendo las fuerzas revolucionarias. Por otra parte, el siglo XVII, a pesar de líderes

tan señalados como Luis XIV... será recordado sobre todo por su ciencia: Galileo explorando la gravedad y el sistema solar, Descartes desarrollando la filosofía moderna y Newton descubriendo las leyes del movimiento y del cálculo. Y el siglo XVI estará en nuestra memoria por el florecimiento de las artes y la cultura. Miguel Ángel y Leonardo y Shakespeare creando obras maestras, Isabel I dando origen a la Era Isabelina.

Así que ¿cómo será recordado el siglo XX? Por su democracia, sí. Y también por los derechos civiles.

Pero el siglo XX será recordado sobre todo, al igual que el XVII, por sus estremecedores avances en ciencia y tecnología. En su gran historia del siglo XX, Paul Johnson manifiesta: «El genio científico afecta a la humanidad, para bien o para mal, mucho más que cualquier político o señor de la guerra». Albert Einstein fue más expresivo: «La política es para el momento. Una ecuación es para la eternidad». Como el mayor pensador del siglo, como un inmigrante que huía de la opresión hacia la libertad, como un idealista político, Einstein engloba de la mejor forma posible lo que los historiadores considerarán significativo acerca del siglo XX. Y como un filósofo con fe tanto en la ciencia como en la belleza de la obra de Dios, personifica el legado que pasará al próximo siglo.

Dentro de cien años, cuando entremos en otro siglo —incluso, dentro de diez veces cien años, cuando entremos en un nuevo milenio— el nombre que demostrará ser más perdurable de nuestra propia asombrosa era será el de Albert Einstein: genio, refugiado político, humanista, descubridor de los misterios del átomo y del universo.

Dada la importancia que la figura de Einstein tuvo durante el siglo XX, una influencia de la que aún no nos hemos librado, y lo bien que su biografía se adecua a la primera mitad de esa centuria, a continuación recordaré algunos apartados de su vida, aquellos que tienen más que ver, ya sea directa o indirectamente, con el tema de este libro (uno de ellos, el primero que abordaré, es pertinente a la cuestión de los judíos y la ciencia del siglo XX). No todos los apartados que merecería la pena tratar, ya que en otros capítulos tendré que volver a él.

UN JUDÍO ALEMÁN CON ESPÍRITU UNIVERSAL

Albert Einstein nació en Ulm (Alemania) el 14 de marzo de 1879, de padres judíos. Aunque una de las características más fuertes de su personalidad fue intentar ir mas allá de lo particular, de lo contingente, de la situación específica, buscando la intemporalidad de las leyes generales y la trascendencia de las teorías científicas, su ascendencia judía terminó ejerciendo una influencia indudable en su biografía. Ello fue así debido a las circunstancias históricas en las que se desarrolló su vida, no como consecuencia del ambiente familiar: a pesar de que su certificado de nacimiento identificaba a sus padres, Hermann y Pauline, como «pertenecientes a la fe israelita», ninguno era religioso, ni seguían las costumbres judías. Como en tantos otros casos de la Alemania del siglo XIX y primeras décadas del XX, los Einstein eran, se consideraban o pretendían ser, «judíos asimilados», esforzándose por no distinguirse de cualquier otro alemán. Los mismos nombres que dieron a sus dos hijos, Albert y María, lejos de los tradicionales Jakob, David, Abraham o Ruth, denotan semejante hecho.

El que sus padres, como tantos otros judíos, intentasen ser «buenos alemanes» no quiere decir necesariamente que participasen de ese cáncer que plaga la historia de la humanidad: el nacionalismo. Por lo que se sabe de ellos, sus deseos no iban más allá de una asimilación que les permitiese vivir, ejerciendo libremente, sin obstáculos, una profesión. De hecho, cuando las condiciones lo requirieron, esto es, cuando, tras un período inicial floreciente, la empresa electrotécnica (la ElektroTechnische Fabrik J. Einstein & Cie.) regentada por los hermanos Jakob y Hermann Einstein (Jakob se ocupaba de las cuestiones técnicas, mientras que Hermann llevaba la parte comercial), comenzó a declinar, la familia de Albert no tuvo ningún problema en trasladar —hacia 1894— el negocio a Pavía, asociándose con italianos para fundar una nueva empresa: la Società Einstein, Garrone e Cia.

Si, como parece, los sentimientos nacionalistas, judíos o alemanes, no representaban mucho para los padres de

Einstein, menos, mucho menos, significaron para su hijo, que mostró con frecuencia a lo largo de toda su vida lo poco que estimaba los nacionalismos. «En última instancia», respondió el 3 de abril de 1935 a un tal Gerald M. Donahue, un estadounidense que le había escrito citando una frase que el *New York Herald Tribune* había atribuido a Einstein («No hay judíos alemanes; no hay judíos rusos; no hay judíos americanos; sólo hay judíos»), «toda persona es un ser humano, independientemente de si es un americano o un alemán, un judío o un gentil. Si fuese posible obrar según este punto de vista, que es el único digno, yo sería un hombre feliz.»[1]

Si rechazaba el nacionalismo en general, simplemente como concepto, más lo hacía (acaso sería más correcto decir en este caso que lo *detestaba*) en el caso alemán. Así, incapaz de soportar la filosofía educativa germana, en diciembre de 1894 —era prácticamente un niño— abandonó Múnich, donde estudiaba, siguiendo a su familia a Pavía. El 28 de enero de 1896 renunció a la nacionalidad alemana, permaneciendo apátrida hasta que en 1901 logró la ciudadanía suiza, la única que valoró a lo largo de su vida. En este sentido, el 7 de junio de 1918 escribía a Adolf Kneser, catedrático de Matemáticas en la Universidad de Breslau (actualmente Wroclaw, en Polonia):[2] «Por herencia soy un judío, por ciudadanía un suizo, y por mentalidad un ser humano, y *sólo* un ser humano, sin apego especial alguno por ningún Estado o entidad nacional». No debe pasar desapercibido el que cuando Einstein escribía estas frases era catedrático de la Universidad de Berlín y miembro de la Academia Prusiana de Ciencias, es decir, un alto funcionario de Prusia, lo que llevaba asociado la nacionalidad alemana, una circunstancia que él preferiría pasar por alto, manteniendo y refiriéndose siempre a su ciudadanía suiza (durante sus años en Berlín viajó habitualmente con pasaporte suizo; incluso lo renovó después de haber adquirido, en 1940, la nacionalidad estadounidense, un acto también de dudosa legalidad desde el punto de vista de la legislación norteamericana).

La persecución que sufrían los judíos, una persecución que no comenzó con Hitler (con él llegó a extremos absolutamente insoportables), fue lo que le acercó a ellos. «Cuando vivía en Suiza, no me daba cuenta de mi judaísmo», respondió en una entrevista publicada en el *Sunday Express* el 24 de mayo de 1931.[3] «No había nada allí» continuaba, «que suscitase en mí sentimientos judíos. Todo eso cambió cuando me trasladé a Berlín. Allí me di cuenta de las dificultades con que se enfrentaban muchos jóvenes judíos. Vi cómo, en entornos antisemitas, el estudio sistemático, y con él el camino a una existencia segura, se les hacía imposible.» En el mismo sentido, con mayor brevedad y claridad aún, si es que cabe, dos años antes había escrito:[4] «Hace quince años, al llegar a Alemania, descubrí por primera vez que yo era judío y debo ese descubrimiento más a los gentiles que a los judíos».

Como vemos, Einstein se vio conducido al judaísmo como un acto de solidaridad. Un acto de solidaridad con un grupo de personas que sufrían discriminaciones, y del que sabía que formaba parte, aunque a él inicialmente no le atrajese para nada la idea de formar parte de algún grupo: hay muchos colectivos de los que uno se puede considerar miembro. Semejante adhesión al judaísmo no le impidió, sin embargo, plantearse preguntas que muchos, antes y después que él, se han formulado: ¿en qué consiste ser judío?, ¿existen rasgos, ideas, comportamientos, sentimientos que les caracterizan, que comparten?

Son muchos los lugares en que abordó tales cuestiones. En la revista estadounidense *Collier's* manifestó (26 de noviembre de 1938):[5]

> ¿Cuáles son las características del grupo judío? ¿Qué es, de hecho, un judío? No existe una respuesta sencilla a esta pregunta... el judío que renuncia a su religión (en el sentido formal del término) continúa siendo un judío.
>
> Lo que une a los judíos y los ha unido durante miles de años es en primer lugar un ideal democrático de justicia social y la idea de la obligación de ayuda mutua y tolerancia entre toda la humanidad. El segundo rasgo característico de la tradición judía es su alta estima por toda clase de comportamiento intelectual y

actividad mental.

En cuanto a si existe una concepción judía del mundo, esto es lo que escribió en 1934:

> En mi opinión, desde el punto de vista filosófico, no existe una concepción del mundo judía. Creo que el judaísmo sólo se preocupa por la actitud moral en la vida y hacia la vida. Considero que lo fundamental en él es una actitud hacia la vida encarnada en el pueblo judío, y que las leyes que se conservan en el Torah y que están interpretadas en el Talmud tienen menos importancia. Para mí, el Torah y el Talmud sólo representan el testimonio principal de la concepción judía de la vida en tiempos antiguos...
>
> El judaísmo no es un credo: el Dios de los judíos es no solamente la negación del elemento supersticioso, el resultado imaginario de la eliminación de ese elemento. También es un intento de basar el código moral en el miedo, un intento lamentable y deshonroso. Creo, sin embargo, que la vigorosa tradición moral del pueblo judío se ha liberado de ese temor, al menos en gran medida.

¿Y sobre la posibilidad de que se crease un Estado judío? En un discurso que pronunció en Nueva York el 17 de abril de 1938, con motivo de un acto organizado por el Comité Nacional de Trabajo para Palestina, Einstein reconocía que «el pueblo judío ha contraído una deuda de gratitud con el sionismo. El movimiento sionista ha revivido entre los judíos el sentimiento comunitario, y ha llevado a cabo un esfuerzo que supera todas las expectativas», y también que los judíos se encontraban en una situación difícil en Palestina («los campos que se cultivan durante el día han de tener protección armada durante la noche, a causa de los ataques de bandidos árabes fanáticos»).6 Pero aun así, Einstein tenía más cosas que decir, mostraba temores que desgraciadamente no han resultado infundados: «Quiero agregar unas pocas palabras, a título personal, acerca de la cuestión de las fronteras. Desearía que se llegase a un acuerdo razonable con los árabes, sobre la base de una vida pacífica en común; me parece que esto sería preferible a la creación de un Estado

judío. Más allá de las consideraciones prácticas, mi idea acerca de la naturaleza esencial del judaísmo se resiste a forjar la imagen de un Estado judío con fronteras, un ejército y cierta cantidad de poder temporal, por mínima que sea. Me aterrorizan los riesgos internos que se derivarían de tal situación para el judaísmo; en especial los que surjan del desarrollo de un nacionalismo estrecho dentro de nuestras propias filas, contra el que ya hemos debido pelear con energía, aun sin la existencia de un Estado judío». Prácticamente una década antes, el 25 de noviembre de 1929, había escrito a Weizmann unas frases que también deberían estar, hoy más que nunca, en la mente del actual pueblo y nación de Israel:7 «Si no logramos encontrar el camino de la honesta cooperación y acuerdos con los árabes, es que no hemos aprendido nada de nuestra vieja odisea de dos mil años, y mereceremos el destino que nos acosará».

Sin duda fue por esos sentimientos de solidaridad que Einstein se fue involucrando en actos no sólo en defensa de los judíos sino también destinados a promover la creación del Estado de Israel. Uno especialmente notorio fue el viaje que realizó en 1921 a Estados Unidos en compañía de Chaim Weizmann (1874-1952), uno de los principales (si no el principal) líderes del movimiento sionista. El objetivo del viaje era obtener, mediante conferencias y contactos personales, el mayor dinero posible para el fondo de reconstrucción judío *Keren Hayessod* y para la Universidad Hebrea de Jerusalén. He aquí cómo describió este viaje Carl Seelig, uno de sus mejores biógrafos:8

> [Einstein] salió de Roterdam el 23 de marzo de 1921... En el muelle de Nueva York le tributaron un recibimiento digno de una primera actriz y lo pasearon en coche de lujo para mostrarlo a la población. El Ayuntamiento le preparó un recibimiento solemne en el Teatro Metropolitan de la Ópera y quiso nombrarlo hijo predilecto de la ciudad. En la sesión decisiva, en la que había que recabar el acuerdo, un concejal afirmó que nunca había oído el nombre de Einstein y que, por lo tanto, no podía aprobar la propuesta. La revista *Scientific American* organizó un concurso para popularizar la teoría de la

relatividad. Se ofrecían 5.000 dólares al concursante que, sin recurrir a fórmulas matemáticas, explicase la teoría lo más comprensiblemente posible en 5.000 palabras. Ganó el concurso un empleado de la Oficina de Patentes de Londres. El recorrido triunfal de Einstein continuó sin disminuir de entusiasmo en Washington, donde lo recibió el presidente Warren Harding, y en Princeton, donde dio sus cuatro primeras conferencias. El rector de la universidad lo ensalzó diciendo que era «un nuevo Colón de la ciencia, que navega solitario por el mar del pensamiento». También visitó Boston y Chicago. A últimos de mayo emprendió el viaje de regreso a Inglaterra, donde fue huésped del ministro de la Guerra y Gran Canciller, Lord Haldane, quien lo llevó como conferenciante al King's College y lo presentó al arzobispo de Canterbury, a G. B. Shaw, a Lloyd George y a otras interesantes personalidades. Einstein depositó una corona de flores en la tumba de Newton, en la abadía de Westminster.

Las fotografías que se tomaron entonces muestran, efectivamente, lo tumultuoso del recibimiento que se le brindó en Nueva York. Einstein era ya, sin ningún lugar a dudas, una celebridad en una de las más célebres ciudades del planeta. El poder que da la fama, un poder, cierto es, con un cierto grado de puntos oscuros, pero poder al fin y al cabo, estaba ya a su disposición.

Aquel viaje a Estados Unidos también le dio unas visiones, experiencias o puntos de vista nuevos para él. «Fue en América», escribió en 1921, «cuando descubrí por primera vez al pueblo judío. Había visto ya un cierto número de judíos, pero nunca me había encontrado con el pueblo judío ni en Berlín ni en ningún otro lugar de Alemania. Este pueblo judío que encontré en América procedía, en general, de Rusia, Polonia y de Europa del Este. Estos hombres y mujeres todavía retenían un saludable sentimiento nacional; no habían sido destruidos por el proceso de atomización y dispersión. Encontré a esta gente extraordinariamente dispuesta para sacrificarse y creativos en lo que se refiere a lo práctico.»9

Su solidaridad con el pueblo judío y la fama mundial de que llegó a gozar explican que, en noviembre de 1952, tras la muerte de Weizmann, que fue el primer presidente

del Estado de Israel, Einstein recibiese la oferta de sucederle en el cargo. Merece la pena citar los primeros pasajes de la carta (fechada el 17 de noviembre de 1952) en la que Abba Eban, entonces embajador de Israel en Estados Unidos, realizó el ofrecimiento:[10]

> Querido Profesor Einstein:
>
> El portador de esta carta es Mr. David Goitein de Jerusalén, que está sirviendo ahora como Ministro en nuestra embajada en Washington. Le lleva a Vd. la cuestión que el Primer Ministro Ben Gurion me pidió le transmitiese; a saber, si Vd. aceptaría la Presidencia de Israel, en el caso de que le fuese ofrecida por un voto del Knesset. La aceptación significaría trasladarse a Israel y adoptar su nacionalidad. El Primer Ministro me asegura que en tales circunstancias el gobierno y el pueblo, que son totalmente conscientes del significado supremo de su labor, le proporcionarían facilidad y libertad completa para continuar su gran trabajo científico.

Un día más tarde, Einstein rechazaba la oferta: «Estoy profundamente conmovido por la oferta de nuestro Estado de Israel, y al mismo tiempo apesadumbrado y avergonzado de no poder aceptarla. Toda mi vida he tratado con asuntos objetivos, por consiguiente carezco tanto de aptitud natural como de experiencia para tratar propiamente con personas y para desempeñar funciones oficiales. Sólo por estas razones me sentiría incapacitado para cumplir los deberes de ese alto puesto, incluso si una edad avanzada no estuviese debilitando considerablemente mis fuerzas. Me siento todavía más apesadumbrado en estas circunstancias porque desde que fui completamente consciente de nuestra precaria situación entre las naciones del mundo, mi relación con el pueblo judío se ha convertido en mi lazo humano más fuerte». El 21 del mismo mes de noviembre, Einstein revelaba una razón suplementaria a Azriel Carlebach, director de la revista *Ma'ariv*: «También pensé en la difícil situación que podría surgir si el gobierno o el Parlamento tomasen decisiones que pudiesen crear un conflicto con mi conciencia; ya que el hecho de que uno no pueda influir realmente en el curso de los acontecimientos

no le exime de responsabilidad moral».

Pero estoy avanzando demasiado en el tiempo, el tiempo de la biografía de Einstein. Y aunque no pretendo que esta parte del presente capítulo sea un pequeño tratado einsteiniano, sí que es conveniente saber algo acerca de quién fue el hombre y científico Albert Einstein; cosas del tipo de ¿cuál fue su formación?

Años de formación, de esperanzas y de frustraciones

Como indiqué, aunque Einstein nació en Ulm no pasó allí mucho tiempo: al año de su nacimiento su familia se trasladó a Múnich, donde su padre y su tío Jakob establecieron un negocio de instalación de agua y gas, aunque luego se dedicarían, como también vimos, al de la electrotécnica.[11] En la capital bávara, y a pesar de que no comenzó a hablar hasta la edad de tres años, no tuvo dificultades en la escuela primaria (fue, de hecho, y contrario al mito tan extendido, un magnífico alumno), entrando a los nueve años en un famoso centro de Múnich, el *Gymnasium* Luitpold, el mismo que abandonaría, en 1894, para seguir a su familia a Italia.[12]

El hecho de dejar Alemania no significa que no desease seguir estudios universitarios. En el otoño de 1895, el joven Albert llegaba a Zúrich procedente de Italia con el propósito de entrar directamente en la Escuela Politécnica Federal (Eidgenössische Technische Hochschule; ETH) de aquella ciudad, que por entonces había alcanzado reputación como centro de vanguardia en la enseñanza superior de la física y la matemática en el mundo de habla alemana. Al no cumplir ninguno de los requisitos para acceder a esta prestigiosa escuela (poseer un certificado de segunda enseñanza —*Maturitätszeugenis*— y tener dieciocho años), tuvo que someterse al examen de admisión especial para los solicitantes sin título. Fracasó en el intento, aparentemente por no realizar satisfactoriamente la parte general del examen. Sin embargo, debió destacar en la parte científica, ya que el profesor de Física, Heinrich

Weber (1843-1912), le dio permiso para asistir a sus clases si permanecía en Zúrich. No obstante, Einstein siguió el consejo del director de la Escuela y se matriculó en la Escuela Cantonal de Aargau, en Aarau, para finalizar su educación secundaria. Cuando entró en aquel centro, en octubre de 1895, éste contaba con un *Gymnasium* y con una Escuela Técnica Comercial (*Gewerbeschule*), a los que asistían, respectivamente, 56 y 90 alumnos.

Durante aquel año inicial en Suiza, en Aarau (vivió en la casa de Jost Winteler, un profesor de la Escuela, desarrollando estrechas relaciones con toda la familia),[13] se forjó el apego del futuro gran físico por la nación helvética, cuyo espíritu de tolerancia y costumbres se acomodaban perfectamente a su personalidad. Apátrida desde el 28 de enero de 1896, fecha en la que se aceptó su renuncia a la ciudadanía de Württemberg, Einstein comenzó el intrincado proceso de solicitar la nacionalidad suiza a finales de 1899, culminándolo poco más de un año después, el 7 de febrero de 1901 (muestra de su interés es que entre 1896 y 1900 había vivido con una asignación de 100 francos suizos mensuales, de los cuales apartaba 20 para pagar los documentos de nacionalización).

En octubre de 1896 obtuvo el título necesario, e inmediatamente entró en la *Mathematische Sektion* de la Escuela Politécnica de Zúrich. Cuando llegó, 23 de los 841 estudiantes de la ETH seguían estudios en esa sección, 11 de los cuales en el curso inicial. Entre esos 11 solamente había una mujer, una serbia llamada Mileva Maric (1875-1948), con la que se casaría el 6 de enero de 1903.

En su autobiografía, Einstein se refirió a sus maestros en la ETH de la siguiente manera:[14] «Allí tuve excelentes profesores (por ejemplo, Hurwitz, Minkowski), de manera que realmente podría haber adquirido una profunda formación matemática. Yo, sin embargo, me pasaba la mayor parte del tiempo trabajando en el laboratorio de física, fascinado por el contacto directo con la experiencia». Heinrich Weber fue el principal responsable de este hecho: siguió ocho de sus cursos de física experimental

(principalmente electrotecnia). De hecho, su intención era continuar utilizando el laboratorio de Weber tras graduarse, para investigar en la termoelectricidad, con la esperanza de poder utilizar los resultados para una tesis doctoral dirigida por el propio Weber.

Tales esperanzas no llegaron, sin embargo, a concretarse. Ni los de iniciar una carrera académica inmediatamente después de finalizar sus estudios. Fue el único de los cuatro estudiantes (además de él, Marcel Grossmann, Jakob Ehrat, Louis Kollrosque) que pasaron los exámenes finales de su sección en julio de 1900 que no consiguió un puesto de *Assistent* (ayudante), el primer escalón en la carrera universitaria, y ello a pesar de que la nota media que obtuvo fue razonable: 4,91 de un máximo de 6.[15] El que ocurriese esto fue una sorpresa para el propio Einstein. De hecho, todos sus intentos por conseguir un puesto de ayudante fracasaron. Tuvo, en consecuencia, que ganarse la vida como pudo hasta que en junio de 1902 se convirtió en empleado de la Oficina de Patentes de Berna. Hasta el 15 de octubre de 1909, en que fue nombrado profesor asociado de la Universidad de Zúrich, aquél sería su lugar de trabajo. Fue, por consiguiente, mientras era un empleado de la Oficina de Patentes suizas, cuando escribió sus tres grandes artículos de 1905.

Y ahora sí es el momento de comenzar a hablar de su ciencia, esa ciencia que tanto poder dio a la física del siglo XX.[16]

La teoría de la relatividad especial

Aunque su empleo le ocupaba seis días a la semana, ocho horas cada día, en Berna Einstein se las apañó para compatibilizar su trabajo profesional con sus investigaciones científicas, que ya había iniciado antes. Así llegó 1905, su *annus mirabilis.* Fue entonces cuando publicó en el *Annalen der Physik* tres trabajos que conmoverían los cimientos de la física. Me estoy refiriendo a, citados por orden de aparición, «Sobre un punto de vista heurístico

relativo a la producción y transformación de la luz», en el que profundizó en la discontinuidad cuántica que Max Planck había introducido en 1900; «Sobre el movimiento requerido por la teoría cinético-molecular del calor para partículas pequeñas suspendidas en fluidos estacionarios», en el que a través de un análisis teórico del movimiento browniano, hacía, por decirlo de alguna manera, visibles a los átomos, y «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento», el artículo de la teoría de la relatividad especial.[17]

Con este último trabajo, el de la relatividad especial, Einstein resolvió un conflicto que había estado latente en la física desde que James Clerk Maxwell formulara, en la década de 1860, la teoría del campo electromagnético, y que alcanzó un dramatismo especial merced a los experimentos de Albert A. Michelson (1852-1931) —en particular el que realizó, con la colaboración de Edward Morley, en 1887—, diseñados para detectar el movimiento de la Tierra a través de un éter, que desempeñaba el papel de un espacio absoluto de referencia, y a las contribuciones teóricas de Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), quien pretendía desarrollar una «teoría del electrón», esto es, un marco teórico para el movimiento de cargas eléctricas interaccionando mediante los campos electromagnéticos descritos por la teoría de Maxwell.[18] Dado que no puedo entrar aquí en el problema de cómo concibió Einstein su teoría, me limitaré a ofrecer un buen resumen de sus puntos básicos, tal y como aparecen en un manuscrito debido al propio Einstein, cuya fecha y contexto se ignoran, depositado en la actualidad en la Biblioteca Nacional de Jerusalén.[19] Escribía allí Einstein:

> Teoría de la relatividad [con este nombre Einstein designaba aquí lo que comúnmente se denomina mecánica clásica o newtoniana]. Toda teoría física emplea un sistema de coordenadas (descripción de lugar) así como el concepto de tiempo. En la mecánica clásica, cuyos fundadores principales fueron Galileo y Newton, las coordenadas de un punto están relacionadas con un «sistema inercial», esto es, con un sistema

de movimiento tal que la ley de inercia de Galileo se aplica al sistema. De acuerdo con esta teoría, existe un número infinito de sistemas inerciales que se mueven uniformemente uno con respecto a otro; con relación a cada uno de estos sistemas las leyes se suponen válidas. El tiempo es tratado como una magnitud independiente, que es la misma para todos los sistemas inerciales. La equivalencia de estos sistemas inerciales se denomina «principio de relatividad especial».

Teoría especial de la relatividad. Esta teoría tiene sus orígenes en la convicción, reforzada por diversos hechos empíricos, de que la velocidad de la luz tiene el mismo valor constante en todos los sistemas inerciales. Partiendo de este principio llegamos al resultado de que las coordenadas de un punto y el tiempo están sujetas a diferentes leyes de transformación (para la transición de un sistema inercial a otro) de lo que se había supuesto tácitamente con anterioridad (transformación de Lorentz). El contenido de la teoría es la contestación a la pregunta: ¿cómo se deben modificar las leyes de la naturaleza para tener en cuenta el postulado de la constancia de la velocidad de la luz? De esto surgió en particular el que el tiempo no es «absoluto», esto es, independiente de la elección de un sistema inercial. Además, surgió una ley de movimiento que difería de la de Newton en el caso de velocidades comparables con la velocidad de la luz (c). También resultaba ese teorema ($E=mc2$) para la equivalencia de la masa inercial m y la energía E de un sistema, que se ha convertido en particularmente importante para la teoría de los elementos químicos y procesos radiactivos.

Es importante hacer hincapié en que la relatividad especial iba más allá del electromagnetismo. Aunque incorporaba el grupo de transformación (ecuaciones de Lorentz) que deja invariante las ecuaciones de Maxwell bajo cambios de un sistema inercial a otro, no se limitaba a la interacción electromagnética; era, es, una especie de requisito cinemático o geométrico que deben verificar en principio todas las interacciones físicas.[20] La diferencia que separaba a la nueva teoría de formulaciones previas, como la de Lorentz, se resumía muy bien en la frase que Einstein incorporaba a la introducción de «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento»: «La introducción de un "éter luminífero" demostrará ser superflua en tanto que la

visión desarrollada aquí no requiere un “espacio absoluto estacionario”».

Aunque mencionados en el esbozo de Einstein que acabo de citar, es conveniente insistir en dos consecuencias de la relatividad especial. La primera, que longitudes y tiempos resultasen ser relativos al estado del movimiento (inercial) del observador. Este hecho, que sería comprobado con profusión (en, por ejemplo, rayos cósmicos y aceleradores de partículas), atraería la atención popular en medidas extremas. La segunda consecuencia aparecía ya implícita en la sección 10 de «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento», donde Einstein calculó la energía cinética de un electrón en un campo electrostático externo. El resultado que obtuvo implicaba ya la famosa equivalencia entre la masa y la energía, $E = mc2$, que iba a ser básica para entender las emisiones que tienen lugar en los procesos radiactivos, y que sería, asimismo, el soporte en el que se apoyarían desarrollos de tanta trascendencia política y social como las bombas atómicas y los reactores nucleares, temas de los que me ocuparé en el capítulo 11. Sin embargo, aparentemente, Einstein no se dio cuenta ni del significado ni de la importancia del resultado que había obtenido de manera implícita hasta poco después, cuando escribió un nuevo artículo titulado «¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido energético?».[21] Las frases finales de este trabajo muestran que Einstein había comprendido por fin las implicaciones de la expresión matemática que había obtenido, y en particular su conexión con la aparentemente inagotable energía que emanaba de los cuerpos radiactivos:

> La masa de un cuerpo es una medida de su contenido energético; si la energía cambia un valor L, entonces la masa varía en el mismo sentido un valor L/9·1020…
>
> No es imposible que se pueda comprobar con éxito la teoría con cuerpos cuyo contenido energético es altamente variable (p. ej. con sales de radio).

Hermann Minkowski y el espacio-tiempo

Una de las características más llamativas de la relatividad especial es su formulación en cuatro dimensiones. El que se tenga que dejar de hablar de un espacio tridimensional para pasar a un espacio-tiempo cuatridimensional ha constituido, de hecho y aunque una de sus dimensiones, la temporal, se exprese con números complejos (*ict*), un factor importante en la atracción que la relatividad ha ejercido en muchos.

Sin embargo, la interpretación cuatridimensional, espacio-temporal, de la relatividad restringida no estaba contenida en el artículo de Einstein de 1905, sino que se debe al matemático Hermann Minkowski (1864-1909), uno de los maestros, como vimos, de Einstein en el Politécnico de Zúrich. El gran sentido geométrico de Minkowski se plasmó, en lo que a la teoría einsteiniana se refiere, el 21 de septiembre de 1908, cuando pronunció una conferencia titulada «Espacio y tiempo» ante el 80 Congreso de Científicos y Médicos Alemanes, reunidos en Colonia.[22] En aquella ocasión, Minkowski pronunció estas ya célebres frases: «Las visiones del espacio y el tiempo que deseo presentarles han surgido del terreno de la física experimental y de ahí toman su fuerza. Son radicales. A partir de ahora el espacio por sí mismo y el tiempo por sí mismo están condenados a desvanecerse en meras sombras, y solamente una especie de unión de los dos conservará su independencia».

La formulación espacio-temporal de la relatividad especial permitió visualizar con mayor facilidad consecuencias de la teoría como la dependencia del concepto de simultaneidad del sistema inercial al que esté asociado el observador, o las contracciones y dilataciones de tiempos y longitudes. Además, el esquema geométrico desarrollado por Minkowski resultó ser un elemento imprescindible para poder construir la relatividad general.

Gracias a las aportaciones a la física que realizó a partir de 1905, el mundo académico comenzó a advertir la presencia de Einstein. En 1909 consiguió su primer puesto universitario, profesor asociado en la Universidad de Zúrich. En 1911 fue designado catedrático de Física en la Universidad alemana de Praga. La propia existencia de una universidad *alemana* en una ciudad checa muestra algunos de los conflictos con los que se encontró Einstein: una ciudad de aproximadamente medio millón de personas, la mayoría (en torno al 90 por 100) checoslovacos, pero en la que la minoría germana (un 7 por 100 de la población, la mitad judíos) ocupaba una posición de privilegio económico, situación que producía numerosos conflictos, entre los cuales se encontraba una división cultural que explica la existencia de la universidad a la que se incorporó Einstein. No era, sin embargo, esta división étnica la única: también había otra que afectaba a los judíos, contra los que se unían los alemanes que no lo eran y los checoslovacos.

Muy poco después de llegar a Praga, algunos colegas y amigos suyos de Zúrich comenzaron a impulsar la idea de que el creador de la relatividad abandonase Praga por una cátedra en el Politécnico, su alma máter. Pierre Weiss, gran experto en paramagnetismo y ferromagnetismo, tuvo la idea de dirigirse a dos de los científicos más conocidos y respetados del momento para saber qué opinaban de Einstein, con la intención de incluir sus respuestas en el informe que finalmente debía llegar al Departamento Federal del Interior suizo. Los científicos elegidos fueron Henri Poincaré y Marie Curie. El informe que ésta preparó el 17 de noviembre de 1911 sirve para hacerse una idea de lo que opinaba entonces la élite de la física mundial:

> He admirado mucho los trabajos que han sido publicados por el señor Einstein sobre las cuestiones que tocan la física teórica moderna. Creo, además, que los físicos-matemáticos están de acuerdo en considerar que estos trabajos son sin duda de primer orden. En Bruselas, en donde he asistido a un consejo científico del que el señor Einstein formaba parte, he podido apreciar la claridad de su espíritu, la extensión de su información y la

> profundidad de sus conocimientos. Si se considera que el señor Einstein es todavía muy joven, se tiene derecho a basar en él las más grandes esperanzas y a ver en él uno de los primeros teóricos del futuro. Pienso que una institución científica que dé a Einstein los medios de trabajo que él desea, llamándole, por ejemplo, a ocupar una cátedra en las condiciones que merece, se verá grandemente honrado por tal decisión y prestará ciertamente un gran servicio a la ciencia.

Y, naturalmente, le fue ofrecida una cátedra en el Politécnico, donde se incorporó en 1912. Dos años más tarde, alcanzaba la cumbre de su profesión: catedrático sin obligaciones docentes en la Universidad de Berlín, director de un Instituto de Física Teórica, que se crearía especialmente para él en la Asociación káiser Guillermo, y miembro, con un salario de 12.000 marcos, de la Academia Prusiana de Ciencias. Max Planck y Walther Nernst en persona viajaron desde Berlín a Zúrich, en el verano de 1913, para transmitirle la oferta. ¿Cómo resistirse ante ella, más aún con semejantes embajadores? Aunque el humor de Einstein no le impidió comentar, justo después de la visita, a su amigo y futuro premio Nobel de Física Otto Stern (1888-1969):[23] «¿Sabes?, los dos me parecieron como si quisiesen obtener un raro sello postal».

Y en Berlín, en medio de la Primera Guerra Mundial, llegaría su contribución más original a la física: la teoría de la relatividad general.

La teoría general de la relatividad

Al contrario que la teoría de la relatividad especial cuya estructura básica fue desarrollada por Einstein en forma definitiva en un solo trabajo, la relatividad general —la teoría relativista de la gravitación que sustituyó a la teoría de la gravitación universal de Newton (1687)— exigió un período mucho más largo para su elaboración, aproximadamente de 1911 a 1915, aunque ya en 1907 Einstein formulase la esencia del problema. Aquel año Johannes Stark —que años más tarde, siendo un ferviente

nazi, se opondría agriamente a Einstein y a sus teorías— pedía a Einstein que escribiese un artículo para la revista *Jahrbuch der Radioaktivitat und Elektronik*, de la que era editor, en el que recopilase todo lo referente al «principio de relatividad». En una de las secciones de este artículo, Einstein escribía:24 «Hasta ahora hemos aplicado al principio de relatividad —es decir, la suposición de que las leyes de la naturaleza son independientes del estado de movimiento del sistema de referencia— solamente a sistemas de referencia *no acelerados*. ¿Es concebible que el principio de relatividad sea válido también para sistemas acelerados entre sí?».

El problema era evidente y, por consiguiente, Einstein no podía abstenerse «de tomar posición en esta cuestión». Para ello pasaba a considerar dos sistemas de referencia en movimiento, S y S', suponiendo que el primero estaba acelerado en la dirección del eje x, y que g era el valor (constante) de esta aceleración. «Supongamos», señalaba, «que S' está en reposo, pero situado en un campo gravitacional homogéneo, que imparte una aceleración $-g$ en la dirección del eje x a todos los objetos. Por lo que sabemos, las leyes físicas con respecto a S no difieren de aquellas con respecto a S'; esto proviene del hecho de que todos los cuerpos son acelerados de la misma forma en un campo gravitacional [experimento de Galileo]. Por consiguiente, en base a nuestra experiencia actual, no tenemos ninguna razón para suponer que los sistemas S y S' puedan ser distinguidos entre sí de alguna manera, y por tanto supondremos que existe una equivalencia física completa entre el campo gravitacional y la correspondiente aceleración del sistema de referencia.»

Vemos cómo en estos párrafos Einstein relacionaba de una manera auténticamente genial la descripción teórica de la interacción gravitacional con su deseo de generalizar el principio de relatividad especial, de manera que englobase una clase más amplia de sistemas de referencia que los inerciales. El vínculo de unión es un dato que aparece como una no explicada coincidencia en la mecánica newtoniana:

la proporcionalidad (igualdad si se eligen sistemas de unidades adecuados) entre la masa inercial y la masa gravitacional.

Dicha equivalencia entre campos gravitacionales y sistemas de referencia acelerados se denomina «principio de equivalencia» y fue la única pieza de todas las que formaban su «rompecabezas gravitacional» que en ningún momento abandonó Einstein durante los años que empleó en buscar una teoría de la relatividad general.

Fue precisamente explotando el principio de equivalencia (el caso de un disco que gira con velocidad angular uniforme) como Einstein se dio cuenta, en 1912, de que la teoría relativista de la gravitación que buscaba debería edificarse sobre un sustrato geométrico curvo, o, en otras palabras, que los campos gravitacionales curvan el espacio-tiempo relativista.[25] En este punto, hay que señalar que no habría sido posible desarrollar la teoría de la relatividad general si no hubiese sido porque durante el siglo XIX la geometría experimentó una dramática renovación. En efecto, los repetidos esfuerzos encaminados a demostrar que el quinto postulado de los *Elementos* de Euclides era una pieza superflua en la estructura de la obra, que podía deducirse de otros axiomas, llevaron, durante el primer tercio del siglo XIX, a la sorprendente conclusión de que no solo era realmente independiente, sino que de su negación no se deducían contradicciones; esto es, que se puede sustituir por otros postulados alternativos que conducen a geometrías diferentes de la euclídea, pero lógicamente correctas. Me estoy refiriendo a las geometrías asociadas primordialmente a los nombres de Carl Friedrich Gauss, Nicolai Ivanovich Lobachevskii y Janos Bolyai. Inicialmente, el descubrimiento de las geometrías no euclídeas no atrajo excesivo interés, pero una combinación de sucesos relanzó su estudio. En primer lugar, está la publicación, entre 1860 y 1865, de la correspondencia de Gauss con Heinrich C. Schumacher, con su referencia favorable al trabajo de Lobachevskii. En segundo lugar, la demostración de Eugenio Beltrami, en 1868, de que la

geometría de Lobachevskii podía interpretarse como la geometría de una superficie de curvatura constante y negativa. Finalmente, se tiene la lección de habilitación que Bernhard Riemann pronunció en 1854: *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen* (*Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la geometría*); de ahí que sea común hablar de «espacios riemannianos».26

Una vez que Einstein dio el paso de identificar la geometría curva, riemanniana, como el soporte geométrico adecuado para construir una teoría relativista de la gravitación, ayudándose del cálculo diferencial absoluto (en especial de una memoria de Ricci y Levi-Civita),27 e identificando geometría con campo gravitacional, tardaría todavía dos años más en llegar a las ecuaciones finales del campo gravitatorio, en un proceso en el que la heurística matemática fue cada vez más importante para él, frente a los argumentos físicos.28 El 25 de noviembre de 1915 Einstein, ya en Berlín, presentaba a la Academia su teoría general de la relatividad, de la que se derivan tres predicciones fundamentales: el desplazamiento del perihelio (punto de la órbita más cercano al Sol) de los planetas (efecto especialmente manifiesto en el caso de Mercurio), un problema que había permanecido sin resolver en la teoría newtoniana durante más de un siglo; el desplazamiento hacia el rojo de las líneas espectrales; y la curvatura de los rayos de luz debido al campo gravitacional.29

Casi inmediatamente, en 1916-1917, Einstein aplicó su nueva teo ría de la gravitación (modificada introduciendo un nuevo elemento en sus ecuaciones básicas: la constante cosmológica) al conjunto del cosmos, encontrando un modelo de universo estático de densidad uniforme, con el que creó la cosmología, entendida como disciplina auténticamente científica, frente a las apenas analíticas, en modo alguno predictivas, cosmogonías anteriores.30 Tal modelo fue finalmente arrinconado ante la evidencia experimental —proporcionada por el astrofísico estadounidense Edwin Hubble en torno a 1930— de que el

universo no es estático sino que se expande.[31] Afortunadamente para la cosmología relativista, existen soluciones de sus ecuaciones (que además no necesitan la constante cosmológica), estudiadas por diversos científicos (como Georges Lemaître, Alexander Friedmann, Howard P. Robertson o Arthur G. Walker) que conducen a modelos de universo en expansión.

Recepción de la teoría especial de la relatividad

Las teo rías científicas son, evidentemente, uno de los nú cleos básicos de la ciencia, pero para que fructifiquen no basta con que un científico produzca la teo ría en cuestión: es necesario que otros crean en ella, que la mayor parte de sus colegas la acepte. Y este punto me lleva a una cuestión que no quiero dejar de tratar aquí: ¿cómo fue la recepción de la relatividad einsteiniana?

La cuestión de la recepción dada a las teo rías relativistas einsteinianas es un tema complejo.[32] Desde luego, la relatividad especial tardó un cierto tiempo en ser reconocida. Varios factores influyeron en este hecho: lo contraintuitivo de uno de los postulados en que se basa (el que afirma que la velocidad de la luz es independiente del estado de movimiento de su emisor) no ayudaba a creer en ella. Por otra parte está el que Einstein era en 1905 un personaje totalmente desconocido en la comunidad científica; su nombre no animaba a que otros físicos se fijasen en su artículo del *Annalen.* Además, hay que tener en cuenta que muchos científicos no supieron ver las profundas diferencias conceptuales existentes entre el nuevo marco cinemático desarrollado por el empleado de la Oficina de Patentes de Berna, y las aportaciones de científicos tan reconocidos como Hendrik A. Lorentz y el matemático y físico-matemático francés Henri Poincaré. Lorentz, una figura enormemente respetada por la comunidad científica internacional, había llegado en 1904, esto es, antes que Einstein, a algunos de los resultados obtenidos por éste (ecuaciones que relacionan las

transformaciones de un sistema de referencia a otro; variación de la masa con la velocidad; contracción de longitudes).[33] No es sorprendente, por consiguiente, que muchos físicos pensasen que no había diferencias apreciables entre sus respectivos puntos de vista. El propio Lorentz contribuyó a esta idea cuando escribió en su libro *The Theory of Electrons*, basado en un curso que dio en 1906 en la Universidad de Columbia:[34] «No puedo hablar aquí de las muchas y muy interesantes aplicaciones que Einstein ha hecho [del principio de relatividad]. Sus resultados referentes a los fenómenos electromagnéticos y ópticos ... coinciden en lo esencial con lo que yo he obtenido en las páginas precedentes, la diferencia principal estriba en que Einstein simplemente postula lo que yo he deducido, con alguna dificultad y no del todo satisfactoriamente, a partir de las ecuaciones fundamentales del campo electromagnético».

Más tarde, sin embargo, en algún momento entre 1909 y 1915, el año en que se publicó la segunda edición de *The Theory of Electrons,* Lorentz se dio cuenta de la originalidad aportada por Einstein. Añadió entonces una nota en la que decía:[35] «Si tuviese que escribir ahora este último capítulo, sin duda que daría un lugar más prominente a la teoría de la relatividad de Einstein, en la que la teoría de los fenómenos electromagnéticos en sistemas en movimiento gana una simplicidad que yo no fui capaz de conseguir. La causa principal de mi fracaso estuvo en mi fijación a la idea de que sólo la variable *t* puede ser considerada como el tiempo verdadero y que mi tiempo local *t*' no debía considerarse más que como una cantidad matemática auxiliar».

El caso de Poincaré, una de las cumbres mundiales de la ciencia matemática de todos los tiempos, es también ilustrativo. Casi al mismo tiempo que Einstein, Poincaré escribió un artículo, «Sur la dynamique de l'électron», que envió el 23 de julio de 1905 a la revista matemática italiana *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo* y que aparecería publicado en 1906.[36] En algunos sentidos (el

matemático sobre todo), el trabajo de Poincaré era más perfecto que los de Lorentz y Einstein, y además contenía muchos de los resultados obtenidos por este último. Tal vez por este motivo Poincaré rechazó posteriormente la relatividad en el sentido einsteiniano. Sin embargo, tampoco se puede decir que fuese el matemático francés quien descubrió la relatividad especial, puesto que no fue capaz de desembarazarse de la idea (errónea) de que esta teoría es consecuencia del electromagnetismo y no algo (un requisito geométrico-cinemático) previo.

En conjunto, cuando se repasa la historia de los primeros años de la relatividad especial, se encuentra que poco a poco ésta se fue abriendo camino. Inicialmente se pueden encontrar tanto científicos (la mayoría, probablemente) que no conocían la existencia de los trabajos de Einstein, otros que conociéndolos no los aceptaban, por una u otra razón, e incluso, por supuesto, los que creyeron rápidamente en ella. El primero en aceptarla y promoverla fue nada más y nada menos que Max Planck, quien era, junto a Wilhelm Wien, uno de los editores de la revista, *Annalen der Physik*, a la que Einstein envió su artículo. Al recibirlo, Planck quedó fascinando por él. En su autobiografía explicó el trasfondo último de esa fascinación:37

> En el año 1905 apareció en los *Annalen der Physik* un artículo de Albert Einstein que contenía las ideas fundamentales de la teoría de la relatividad y cuyas explicaciones enseguida despertaron en mí una viva atención. Para evitar un posible malentendido debo introducir algunas observaciones aclaratorias de tipo general. Justo al comienzo de esta narración de mi vida he subrayado que la búsqueda del Absoluto me parece la más bella tarea del científico. Podría pensarse que ello está en contradicción con mi interés por la teoría de la relatividad. Pero tal suposición se apoyaría en un error de principio, pues todo lo relativo presupone algo absoluto, sólo cobra sentido cuando enfrente tiene un Absoluto. Esa frase que se oye con frecuencia, «todo es relativo», es tan engañosa como precipitada. En la base de la llamada teoría de la relatividad existe algo absoluto, en concreto la métrica

> espaciotemporal, y sacar a la luz el Absoluto que confiere sentido a lo relativo que uno tiene ante sí es una tarea especialmente fascinante...
>
> Y así ocurre también con la teoría de la relatividad. La atracción que ejercía sobre mí era tal que no podía sino afanarme por extraer de sus principios el Absoluto —o Invariante— que les subyace. Y lo logré de manera más o menos sencilla. En primer lugar, la teoría de la relatividad atribuye sentido absoluto a una magnitud que en la teoría clásica sólo posee carácter relativo: la velocidad de la luz. Ésta constituye el centro absoluto de la teoría de la relatividad, igual que el cuanto de acción lo es de la teoría cuántica.

A través de Planck vemos, por consiguiente, que otro rasgo del poder que ejercen sobre otros ideas o teorías científicas se encuentra en elementos tan poco cuantificables, tan subjetivos, como los sentimientos estéticos, los «prejuicios» de los individuos sobre cómo es o debería ser el mundo.

Las personas son, ciertamente, importantes, más aún si son de la estatura e influencia intelectual de Planck, pero es más conveniente, cuando se estudia la recepción de una teoría científica, intentar entender su difusión en términos más amplios, como, por ejemplo, los nacionales. En este punto hay que señalar que aunque se ha intentado encontrar rasgos nacionales en la recepción dada a la relatividad restringida, especialmente en los casos de Alemania, Estados Unidos, Inglaterra y Francia, cuando se profundiza en el estudio de las reacciones dentro de esos países se va encontrando que las características que se creía diferenciaban a una nación de otra parece que terminan difuminándose. En la mayoría hubo algunos científicos influyentes que se ocuparon, de alguna manera, de la nueva teoría, aunque parece que fue en Alemania, la nación líder en investigación física, en donde abundaron más estos personajes, atraídos hacia la formulación einsteiniana bien por las ventajas de ésta en relación con los fenómenos electromagnéticos (los casos, por ejemplo, de Jakob Laub, Walter Ritz y Arnold Sommerfeld), por su interés matemático (Minkowski y Felix Klein) o, incluso, por sus

virtudes epistemológicas (Planck). En Gran Bretaña escasearon algo más, oponiéndose al principio a ella algunos físicos destacados; pero ello no quiere decir, por ejemplo, como se ha llegado a afirmar, que la característica abrumadoramente extendida de la reacción de los físicos británicos fuera su rechazo a la teoría einsteiniana por su apego al concepto del éter.[38]

De la relatividad general al «fenómeno Einstein»

Cuando Einstein conseguía poner fin a ocho años de intensos esfuerzos por encontrar una teoría relativista de la gravitación —la *teoría general de la relatividad*— que fuese satisfactoria, ya gozaba de un sólido prestigio dentro de su profesión, ocupando, como vimos, una cátedra, sin obligaciones docentes, creada para él en la Universidad de Berlín, más la pertenencia a la Academia Prusiana de Ciencias y la dirección del nuevo Instituto de Física Teórica en la Asociación Káiser Guillermo. Semejante predicamento entre sus colegas favoreció que la relatividad general fuera aceptada rápidamente —o al menos considerada muy seriamente— por la comunidad científica. Dada la naturaleza de la nueva teoría y, en particular, del aparato matemático que utilizaba (el cálculo diferencial absoluto, o geometría diferencial), no todos los físicos podían comprenderla —lo que, por cierto, explica el elevado número de matemáticos que se interesaron por ella—, pero en general la gran mayoría pensaba que, aunque estuviese fuera de su alcance, constituía una aportación positiva al progreso de la física.[39] El 3 de febrero de 1916, poco después, por tanto, de que Einstein llegase a su solución definitiva, el físico holandés Adriaan D. Fokker escribía una carta a Niels Bohr en la que expresaba opiniones que compartían muchos de sus colegas:[40] «Recientemente, Einstein ha acabado su teoría de la gravitación. Encontró la manera de poner sus ecuaciones en una forma absolutamente covariante y de explicar el movimiento secular del perihelio de Mercurio. Lorentz se ha

entusiasmado mucho después de un período de duda y cálculos de prueba. Ehrenfest cree que tal vez después de cien años se demostrará que el descubrimiento de Einstein ha tenido, con mucho, más importancia que esta guerra [la Primera Guerra Mundial] sin fin».

Una cosa es, no obstante, el reconocimiento dentro de la profesión, y otra, muy distinta, el que los hombres y mujeres de la calle conozcan, hayan oído, las teorías de un científico; incluso que sepan que tal científico existe. En el caso de Einstein, el paso del reconocimiento académico al popular ocurriría en 1919.

El 6 de noviembre de 1919 tuvo lugar en el edificio Burlington House de Londres una reunión conjunta de la Royal Society y la Royal Astronomical Society. Una numerosa audiencia, formada principalmente por los miembros de ambas sociedades científicas, se reunió bajo la presidencia de J. J. Thomson, presidente de la Sociedad, *master* del Trinity College de Cambridge desde marzo de 1918, y hasta hacía pocos meses director del Laboratorio Cavendish. Alfred North Whitehead, el célebre filósofo y matemático que asistió a aquella reunión (él mismo era *fellow* de la Royal Society), describiría años más tarde el ambiente que la rodeó:[41]

> Toda la atmósfera de tenso interés era exactamente la de un drama griego: nosotros éramos el coro comentando el decreto del destino revelado en el desarrollo de un incidente supremo. Había una cualidad dramática en la misma representación; el ceremonial tradicional, y en el trasfondo el retrato de Newton para recordarnos que la mayor de las generalizaciones científicas iba a recibir ahora, después de más de dos siglos, su primera modificación.

La reunión se había convocado para comunicar los resultados de las observaciones realizadas por una expedición científica británica a la isla Príncipe, en África, y a Sobral, en el norte de Brasil, con motivo del eclipse de sol del 29 de mayo. De esta expedición, dirigida por Frank Dyson, el astrónomo real inglés, y Arthur Eddington

(*professor* de Astronomía en Cambridge), planeada para comprobar si se verificaba la predicción de la relatividad general que anunciaba que los rayos de luz interaccionan con los campos gravitatorios (curvatura, en las proximidades de la superficie del Sol, de los rayos de luz provenientes de una estrella), se ha hablado tanto que no es necesario que yo me entretenga con detalles acerca de ella en esta ocasión.[42] Lo que sí hay que recordar es que los resultados de la expedición británica, que favorecían a la relatividad general, desencadenaron una serie de reacciones que conducirían a que la «relatividad» (en primer lugar fue la teoría general, pero luego también la especial) y su creador pasasen a ser objetos de atención —curiosidad, acaso sería una palabra más adecuada en muchos casos— universal.

El 7 de noviembre, esto es, justo el día después de la reunión en la que se presentaron los resultados del eclipse, *The Times* anunciaba:

REVOLUCIÓN EN CIENCIA
NUEVA TEORÍA DEL UNIVERSO
IDEAS NEWTONIANAS DESBANCADAS

En este primer artículo periodístico ya nos encontramos con uno de los principales temas que constantemente iban a aparecer en los comentarios referentes a la teoría de la relatividad, a la teoría general en este caso: el de su dificultad; posteriormente, sería el de su incomprensibilidad. Se citaba que J. J. Thomson había manifestado que en la reunión de Burlington House se había asistido a «uno de los más decisivos, si no el que más, pronunciamientos del pensamiento humano», pero inmediatamente se añadía que el propio presidente de la Royal Society tenía que confesar que «nadie había sido todavía capaz de presentar en un lenguaje claro lo que era realmente la teoría de Einstein».

La ola de artículos periodísticos continuó, con intensidad creciente; el mismo Einstein contribuyó

ocasionalmente con algún trabajo, como el que el propio *The Times* londinense publicó el 28 de noviembre.[43] (Hay que hacer notar que no fue sólo en diarios en donde se comentaron las ideas relativistas; limitándome al caso británico, y al margen, naturalmente, de publicaciones científicas, nos encontramos con que entre 1919 y 1920 una buena parte de las principales revistas culturales británicas publicó artículos en los que se daba una idea del contenido de las dos teorías relativistas. *The Atheneum, The Nineteenth Century and After* o *The Contemporary Review* son algunos ejemplos en este sentido.) En un principio fue especialmente en Gran Bretaña, Estados Unidos y Alemania en donde más atención se prestó a las nuevas ideas einsteinianas del espacio-tiempo gravitacional, pero pronto el «fenómeno Einstein» se extendió a otras naciones (en Francia, por ejemplo, aparecerían artículos sobre la relatividad en revistas como *L'Écho de Paris, L'Ère Nouvelle, Le Figaro, La France, L'Humanité, Le Temps, L'Internationale* y otras muchas). Sin pretender, ni mucho menos, ser exhaustivo, presentaré a continuación algunos ejemplos que muestran hasta qué punto fue intensa la atracción ejercida por las ideas einsteinianas en los años que siguieron a 1919.[44]

El 1 de diciembre de 1919, es decir, menos de un mes después de la reunión de Burlington House, Eddington escribía a Einstein en los siguientes términos:[45] «He estado muy ocupado dando conferencias y escribiendo sobre su teoría. Mi *Report on Relativity* se ha agotado y ahora se está volviendo a imprimir.[46] Esto demuestra un ansia de conocer el tema, ya que no es un libro fácil de digerir. Hace algunos días tuve una enorme audiencia en la Cambridge Philosophical Society y cientos fueron rechazados incapaces de acercarse a la sala». (Sin duda Eddington fue, especialmente en Gran Bretaña pero no solamente allí —en la medida en que sus libros fueron traducidos, sus artículos técnicos leídos por físicos y matemáticos de todos los países, y sus declaraciones transmitidas de un rincón a otro del mundo—, uno de los científicos, Einstein aparte, que

más contribuyó a hacer popular y aceptada, por los físicos y astrónomos, la nueva teoría einsteiniana.47)

Otra muestra de que la fama de Einstein crecía exponencialmente se encuentra en las ventas del libro de carácter popular que publicó en 1917 para divulgar las dos teorías de la relatividad: *Über die spezialle und die allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)*.48 La primera edición constaba de 2.000 ejemplares, la segunda (también de 1917) de 1.500, la tercera (1918) de 3.000 y la cuarta (1919) de 3.000.49 A partir de entonces, es decir, una vez anunciados los resultados de la expedición británica a la que me he referido, las ediciones y las ventas se dispararon: quinta edición (enero de 1920), 4.500 ejemplares; sexta (febrero de 1920), 4.500; séptima (marzo de 1920), 4.500; octava (abril de 1920), 6.000; novena (junio de 1920), 6.000; décima (agosto de 1920), 10.000; undécima (noviembre de 1920), 5.000; duodécima (noviembre de 1920), 5.000. En 1922 ya se habían realizado catorce reimpresiones, con un total de 65.000 ejemplares.

Y también comenzaron a aparecer traducciones a otros idiomas. La primera versión al inglés (*Relativity: The Special and the General Theory. A Popular Exposition*) apareció en Inglaterra (Methuen, Londres) en 1920. El año siguiente se publicaba en Estados Unidos (Holt, Nueva York) y también las traducciones al español (*Teoría de la relatividad especial y general* [Peláez, Toledo]), francés (*La théorie de la relativité restreinte et généralisée* [Gauthier, París]), italiano (*Sulla teoria speciale e generale della relatività*) y ruso (*Teoriia otnositel'nosti: Obshchedostypnoe izlozhenie* [Slowo, Berlín]). En 1922 aparecía una traducción al húngaro, en 1923 al yiddish (lengua judeoalemana) y en 1928 al hebreo.

Con la fama, a Einstein le llegaron invitaciones de todos los rincones del mundo. Y aceptó bastantes. Un buen indicador, que ha sido utilizado por Abraham Pais,50 del grado de popularidad de que gozaba en los países que visitó el entonces catedrático en Berlín, lo tenemos en los informes que los diplomáticos alemanes residentes en aquellas naciones enviaban al Ministerio Alemán de

Asuntos Exteriores (nos encontramos de esta manera también con una muestra de una utilidad de la ciencia, no completamente nueva —recuérdense los casos de «imperialismo cultural»—,[51] que fue consciente y sistemáticamente aplicada a partir de 1919: intentar explotar la ciencia y los científicos para mejorar en el exterior la imagen nacional; con el interés que suscitó, Einstein ayudó, involuntaria o inconscientemente, a configurar esta dimensión de la ciencia contemporánea, que tanto se ha desarrollado posteriormente). Citaré algunos de tales informes diplomáticos: Oslo, junio de 1920: «Las conferencias [de Einstein] fueron recibidas sorprendentemente bien por el público y la prensa»; Copenhague, junio de 1920: «En los últimos días, periódicos de todas las opiniones han hecho hincapié en extensos artículos y entrevistas en la importancia del Profesor Einstein "el físico más famoso de la actualidad"»; Tokio, enero de 1923: «Cuando Einstein llegó a la estación había tal gentío que la policía fue incapaz de dirigir aquella peligrosa aglomeración... En el festival de los crisantemos no fueron ni la emperatriz ni el príncipe regente ni los príncipes imperiales los que atrajeron la atención; todo giró en torno a Einstein». Y comentarios similares relativos a sus visitas a París (abril de 1922), España (marzo de 1923; donde pronunció conferencias en Barcelona, Madrid y Zaragoza), Río de Janeiro, Montevideo, Estados Unidos... «Con un hombre así», señalaba Friedrich Sthamer, encargado de negocios alemán en Londres cuando (1920) tuvieron lugar los primeros ataques contra Einstein en Alemania, «podemos hacer una verdadera propaganda cultural y no deberíamos expulsarle de Alemania.»[52] El científico, *el científico famoso*, se convertía, como vemos, en objetivo e instrumento político.

Hacia 1929 el interés popular había llegado a un punto en cierto modo casi increíble, como se puede comprobar por la carta que Eddington escribía a Einstein el 11 de febrero de aquel año:[53] «Le divertirá saber que uno de nuestros grandes almacenes de Londres (Selfridges) ha

pegado en el escaparate su trabajo (las seis páginas pegadas lado a lado) ¡de forma que los transeúntes puedan leerlo al pasar!». Si tenemos en cuenta que el artículo al que se refería el catedrático de Astronomía de Cambridge trataba de una de las teorías del campo unificado con las que por entonces pugnaba Einstein, nos daremos cuenta de las situaciones tan absurdas que se llegaron a dar.

Acabo de emplear la palabra «absurda», pero, ¿es lícito realmente emplear semejante calificativo en un caso como el presente? Sería correcto hablar de «absurdo», de «irracional», si se pensase que lo que los gerentes de Selfridges pretendían era que las personas que caminasen por Oxford Street, o al menos un buen porcentaje de esas personas, conociesen los detalles de la nueva teoría einsteiniana. Obviamente, ése no era el caso. Ningún paseante o comprador, o prácticamente ninguno, iba a entender nada de aquello que se exponía en los escaparates de los grandes almacenes londinenses, y es evidente que sus gerentes no se podían hacer ilusión alguna a este respecto, que no pretendían semejante cosa. Lo que la presencia de las páginas del artículo de Einstein refleja es, de entrada, que Einstein y su ciencia eran hacia 1929 una *imagen*, algo que despertaba atención y que incitaba a aquellos que pasaban delante de Selfridges a fijar su atención en la tienda y, de esta manera, acaso a entrar en ella. Nada nuevo, ni sorprendente, salvo porque en este caso el reclamo era un científico y una disciplina científica, la física. Sabemos que la ciencia ya había sido objeto de atención social; por ejemplo, como curiosidad en los salones de los siglos XVIII y XIX, o al abrir, a través de la electricidad o los rayos X, nuevas posibilidades y percepciones durante el último cuarto del siglo XIX y principios del XX; pero lo que ocurrió con Einstein y su relatividad fue un fenómeno nuevo, tanto por la intensidad de los sentimientos que generó como por tratarse de una teoría científica fundamental, una teoría de la que no existían entonces aplicaciones prácticas de las que la sociedad se pudiese beneficiar materialmente.

Pero, y aquí llegamos a la pregunta crucial, ¿por que suscitó Einstein, o sus teorías —ésta es otra pregunta, distinguir si fue Einstein o fueron sus teorías— semejante interés? Hay que reconocer que este punto es bastante delicado; se pueden adelantar diversas respuestas posibles, pero el que sean o no *las* respuestas es algo que, mucho me temo, está sujeto a un alto grado de subjetividad, de, simplemente, plausibilidad. Aunque no demasiados, existen algunos estudios dedicados a este tema. Para Lewis Elton, por ejemplo, la fama de Einstein se debió tanto a las controversias —que también las hubo— y comentarios que rodearon a la verificación de su teoría general de la relatividad como al mito de su incomprensibilidad (ambos surgidos en el mundo anglosajón).[54] En mi opinión, es ésta una explicación que explica poco, salvo, si acaso, en lo relativo al mito de la «incomprensibilidad». Más interesante es el trabajo de Marshall Missner, para quien Einstein llegó a ser una celebridad en Estados Unidos debido, principalmente, a la prensa.[55] La gente supo acerca de él y de sus teorías leyendo artículos en los diarios y en las revistas. Esto es, evidentemente, cierto, casi trivialmente cierto, en tanto que nos estamos refiriendo a un fenómeno —el interés suscitado por la teoría de la relatividad general — que afectó a, que se dio entre, grandes masas, y ¿cómo hubiese podido semejante público saber de la existencia de esa teoría si no es a través de la prensa? De nuevo, en el siglo XVIII un fenómeno de este tipo no hubiera podido, por razones obvias, tener lugar; no desde luego con igual rapidez. Ahora bien, también hay que preguntarse: ¿por qué se interesó la prensa en las ideas einsteinianas y en Einstein? En este punto mi respuesta es, simplemente: porque los propios periodistas reaccionaron como sus lectores (veremos cuáles fueron esas reacciones enseguida); porque eran igual de sensibles que ellos ante el mundo asociado a las ideas de Einstein, mundo del que recibieron noticia debido a la resonancia que tuvieron entre los científicos los resultados de la expedición británica, resonancia favorecida a su vez por el prestigio del que ya

gozaba por entonces Einstein entre sus colegas. Además, los periodistas identificaron, correctamente, un tema de gran interés potencial.

Es posible desglosar la intervención de la prensa, en el caso de Estados Unidos, en un conjunto de factores, en modo alguno inevitables (es importante recalcar este último punto). Por un lado, una serie de elementos que involucraban a la teoría de la relatividad general, como fueron: una adecuada presentación en los periódicos de la verificación de su teoría, y la utilización de frases convenientes, que tocaban fibras especialmente sensibles del público, para describir la teoría. Por otro lado, con el público ya interesado por la relatividad, factores relativos al propio Einstein: la visita que llevó a cabo, con Chaim Weizmann, a Estados Unidos en 1921, que ya mencioné; las manifestaciones, generalmente ingeniosas o simpáticas, y que la prensa recogía puntualmente, que Einstein realizó entonces; y el hecho de que existiera un grupo, los sionistas americanos y la comunidad judía en general, que le sirvió como una vanguardia segura y eficaz.

En cuanto al primer grupo de factores, parece razonable aceptar que, efectivamente, éstos desempeñan, en mayor o menor grado, un cierto papel en atraer la atención del público hacia la relatividad general de Einstein. Veamos, más detalladamente, algunos de tales factores.

En primer lugar hay que señalar que los tratamientos periodísticos de la relatividad general se basaban en un número bastante pequeño de frases y términos que se repetían una y otra vez (algo esencial, como sabemos, para el éxito de cualquier campaña publicitaria). Ocurre, además, que contrariamente al caso de otras teorías científicas con parecido grado de sofisticación técnica y conceptual, la naturaleza de la relatividad general permite que las expresiones que se utilizan para describir su contenido de manera general no incluyan conceptos poco familiares. Mientras que otras teorías tienen que recurrir a términos como «cuanto de energía», «función de onda», «espín», «niveles de energía», «doble hélice», «placas

tectónicas» o «genoma», al describir la teoría de Einstein, sus comentadores empleaban expresiones tales como «espacio curvo», «cuatro dimensiones» o «universo finito (o infinito)». Estas palabras, y las frases que las acogían eran, son, lo suficientemente familiares como para que el público no pasara sobre ellas como totalmente fuera de su comprensión; más aún, sus aspectos paradójicos suscitaban interés. ¿Cómo iba a ser posible que el universo, *nuestro* universo, en el que se desarrolla nuestra existencia, tuviese cuatro dimensiones, en lugar de las tres tan conocidas, alto, ancho y largo? Y el universo ¿cómo es que se decía de él que estaba curvado?, ¿y que era finito? (el modelo de universo que Einstein propuso en 1916).

Con referencia al segundo grupo de factores a los que aludía antes, aquellos que se basan en la visita que realizó Einstein a Estados Unidos, y en la existencia en este país de comunidades judías que simpatizaban con Einstein ya de entrada por motivos no científicos, es evidente que se aplican únicamente al caso estadounidense. El que en Gran Bretaña y, aunque en menor medida, también en Francia (donde los sentimientos antigermanos eran particularmente intensos después de 1914), tuvieran lugar fenómenos similares, sin que se diesen las mismas circunstancias que en Estados Unidos, tiende a minimizar, aunque en absoluto se pueda ignorar ni despreciar, la importancia de tal grupo de factores.

Otro factor, relacionado con el anterior, es el de la dificultad de la teoría. Explicaré a qué me estoy refiriendo antes de desarrollar el argumento. Un tema recurrente durante mucho tiempo en la mayoría de las discusiones periodísticas, y por consiguiente esencialmente populares, de la teoría de la relatividad general fue lo difícil que era comprenderla en todos sus detalles. Ya nos encontramos en *The Times* del 7 de noviembre con una manifestación de J. J. Thomson en este sentido, pero sólo un día después, en un artículo publicado en el *Manchester Guardian* se reforzaba la impresión dada por el presidente de la Royal Society, iniciando un mito que contribuyó a configurar la imagen

popular de la relatividad. Tras describir la reunión de Burlington House e intentar explicar la nueva teoría gravitacional, el artículo suministraba una breve biografía de Einstein que concluía con las siguientes frases: «Cuando [Einstein] ofreció su último trabajo importante a los editores, les advirtió que no existían más de doce personas en todo el mundo que lo comprendiesen».

El mito de las «doce personas» se extendió rápidamente (dos días después aparecía en el *New York Times*); surgieron pequeñas leyendas, como la que se adjudicaba a Eddington: «Profesor Eddington —le preguntó supuestamente alguien —, ¿es cierto que solamente tres personas entienden la relatividad general?». «¡Oh!, ¿quién es el tercero?», es la respuesta que se le asignaba al astrónomo inglés. Pero por mucho que el origen de tales declaraciones sea más que dudoso, el hecho es que el «mito de los doce» (o de «los tres») existió, y que contribuyó a rodear a la relatividad generalizada —y subsidiariamente a Einstein y a la relatividad especial (que también daba motivos para justificar semejante fama)— de un halo de misterio, de profundidad, de esoterismo. El que a pesar de tales obstáculos se pudiese entender, como acabamos de ver, algo de lo que decía, o de los temas que abordaba la teoría, no hizo sino atraer un mayor público hacia la misma y hacia su autor.

Se podrían citar otros factores —que al igual que los que acabo de utilizar contienen un elevado grado de componente «psicológico»— que ayudan a comprender el «fenómeno Einstein», pero, por el momento, no es necesario. Lo que sí quiero es apuntar algo que hasta ahora ha pasado desapercibido para aquellos que han intentado explicar la recepción popular dada a las teorías de Einstein. La mayoría de las explicaciones que he estado manejando hasta el momento son en cierto modo, y como señalé hace un instante, psicológicas, y por supuesto no tendría nada de extraño que bastase con este tipo de elementos para explicar por qué Einstein y la relatividad llegaron a ser tan rápida e intensamente famosos; no obstante, existe la

posibilidad de que haya que recurrir también a otros factores. Uno de tales «otros factores» es el que podríamos denominar «institucional». Para ver a qué me quiero referir, citaré un editorial que apareció en el periódico británico *The Morning Post* el 27 de septiembre de 1922 (se titulaba «The scientific front» [«El frente científico»]):

> Uno de los resultados de la guerra [la Primera Guerra Mundial], en la que los cerebros científicos de este país se han movilizado para tan buen fin, es un aumento apreciable del interés público por los logros de la ciencia, ya sea ésta teórica o práctica. En los días anteriores a la guerra, no se podría haber persuadido ni al hombre de la calle ni al hombre del club para que leyesen acerca de la controversia Einstein *versus* Newton.

Si aceptamos el punto de vista expresado en este editorial, entonces la reacción inicial del público británico ante Einstein y sus teorías debe ser considerada, al menos en parte, como la afortunada coincidencia del anuncio de los resultados obtenidos en una expedición científica británica con el final de una guerra que, como veremos en otro capítulo, había alertado definitivamente a sociedad y gobierno británicos de los valores de la ciencia para la prosperidad de la nación. (Soy consciente de que este tipo de explicación debe ser elaborado ampliamente antes de que se pueda aceptar o rechazar, pero parece ofrecer posibilidades. Entre otras cosas, hay que aplicarlo a naciones diferentes; así, acaso permita relacionar las —si es que las hubo— diferencias en la recepción de las teorías einsteinianas entre países como Gran Bretaña, Francia, Alemania, Estados Unidos y Holanda, que sufrieron muy distintas suertes en la Primera Guerra Mundial.)

Un problema, ya mencionado, siempre latente a la hora de hablar de Einstein, de la relatividad y de la reacción social que originaron, es el de quién o qué fue, si Einstein o sus teorías (la relatividad general especialmente), lo que atrajo en primer lugar la atención del público. El problema se plantea debido a que la personalidad de Einstein se ha magnificado tanto, que en la actualidad es su persona, su

nombre, su imagen, lo conocido por el gran público. Por lo que sabemos, sin embargo, esto no fue así inicialmente: fueron sobre todo sus ideas, cuyos principales atractivos para las masas ya he señalado, y no su persona, quienes capturaron el interés general. En otras palabras: su fama fue consecuencia de su teoría (la relatividad general). Sería únicamente, a partir de 1921, cuando viajó a Estados Unidos (2 de abril-30 de mayo), y el año siguiente a otros países, cuando se convertiría realmente en una celebridad. Es cierto que el hombre Albert Einstein reunía una serie de características que facilitaron que su imagen y su nombre se grabaran en la mente del público, hasta convertirse casi en una especie de logotipo para el sabio y para la ciencia, pero si la relatividad general no hubiera sido capaz de generar el interés que consiguió suscitar, muy probablemente apenas se le habría prestado atención, incluso aunque hubiese conseguido en 1922 el premio Nobel de Física por alguna de sus otras contribuciones a la física teórica (recibió el premio, correspondiente a 1921, por sus investigaciones sobre el efecto fotoeléctrico).

El último punto que quiero tocar en este apartado es el de la ayuda que la relatividad especial recibió de la teoría general. Como hemos visto, fue a raíz del anuncio de los resultados de las medidas tomadas en el eclipse de mayo de 1919 cuando comenzó la «historia social» de Einstein y sus teorías relativistas. Ahora bien, en realidad, y he procurado ir, aquí y allá, dejando constancia de este hecho, fue la teoría de la relatividad general la que primero captó la atención del público (¡y de la mayoría de los científicos!). Hacia 1919, la relatividad especial, que Einstein había formulado en 1905, era de hecho no muy conocida —aunque no fuese, desde luego, desconocida— entre la mayor parte de los físicos y matemáticos (especialmente los no alemanes), e ignorada completamente por el gran público. Gracias a la teoría general, la relatividad especial fue siendo conocida, por el público... y por la generalidad de los científicos (de los físicos, especialmente). Aunque la teoría restringida no generó cosmologías, esto es, teorías

físicas del universo, con todo lo que tales temas significan a la hora de atraer la atención pública, algunas de sus características (contracción de longitudes, dilatación de tiempos, relatividad de la simultaneidad) eran muy adecuadas para que el público se interesase por ella. Viajes interplanetarios, hermanos gemelos viajando por caminos separados y luego volviéndose a reunir con edades muy diferentes (paradoja de los gemelos), equivalencia masa-energía ($E=mc2$), pasaron a formar parte del folclore popular (en particular, en las novelas de ciencia-ficción, género literario que, de hecho, la teoría einsteiniana ayudó a establecer).[56] El gran número de libros de divulgación, que incluían detalles más o menos técnicos, comenzaban sistemáticamente por la teoría especial para culminar con la relatividad general (ésta es, por ejemplo, la secuencia utilizada en el pionero *Report on the Relativity Theory of Gravitation* de Eddington citado con anterioridad). En realidad, muchas personas comenzaron a hablar simplemente de «relatividad», englobando con tal término ambas teorías, que no eran capaces, por otra parte, de distinguir adecuadamente; un fenómeno este todavía presente.

Me acabo de referir a libros de divulgación de la relatividad; es oportuno desarrollar un poco este punto, aunque ya mencioné un caso particular, el del libro que escribió el propio Einstein. A partir de 1919, el interés que el público demostraba por la relatividad hizo que numerosos científicos —y filósofos también— escribieran libros en los que se intentaba explicar las teorías relativistas de Einstein sin utilizar recursos técnicos que hiciesen a estas obras inaccesibles al lector general. La lista de estos libros (en todos los idiomas) es interminable. Aunque el género del libro de divulgación científica existía desde hacía siglos (recordemos, por ejemplo, las *Cartas a una princesa alemana* [1768, 1772] de Leonhard Euler), nunca fue tan utilizado como con la relatividad: Arthur Eddington, Erwin Freundlich, James Jeans, Bertrand Russell, Moritz Schlick, Max Born, Paul Langevin, Hans Reichenbach,

Leopold Infeld, Ernst Cassirer o Blas Cabrera, se sumaron, entre muchos otros, a esta empresa. De esta forma, la relatividad estimuló un género, la divulgación científica, que el nuevo siglo necesitaba de manera apremiante. (Otro apartado de este tema sería el de las biografías que se dedicaron a Einstein, a partir de fecha tan temprana como ¡1921!, año en que apareció el libro de Alexander Moszkowski, *Einstein: Einblicke in seine Gedankenwelt*. Pero no me ocuparé de este punto aquí; simplemente decir que son decenas y decenas, centenares, el número de biografías de Einstein existentes.)

Einstein, la política y el poder político

Aunque fue, por encima de cualquier otra consideración, un científico, un hombre cuya existencia estuvo centrada en, y dedicada a, la ciencia, Einstein no pudo (ni quiso) evitar relacionarse con otros ámbitos, entre los que destaca el poder político. Es cierto que en una conferencia que pronunció el 26 de abril de 1918, durante las celebraciones del sexagésimo cumpleaños de Max Planck, manifestó que creía, «junto con Schopenhauer, que una de las más fuertes motivaciones de los hombres para entregarse al arte y a la ciencia es el ansia de huir de la vida de cada día, con su dolorosa crudeza y horrible monotonía, el deseo de escapar de las cadenas con que nos atan nuestros deseos siempre cambiantes. Una naturaleza de temple fino anhela huir de la vida personal para refugiarse en el mundo de la percepción objetiva y el pensamiento»,57 pero pocas veces pudo él satisfacer ese para algunos, entre los que me cuento, no demasiado admirable deseo («escapar de la vida de cada día con su dolorosa crudeza»). En efecto, cuando se repasa su biografía enseguida se encuentran situaciones en las que tuvo que entrar en la arena política. En otros capítulos del presente libro me referiré a su actividad como pacifista durante la Primera Guerra Mundial, o a la carta que escribió en 1939 al presidente Roosevelt de Estados Unidos, alertándole del

peligro que podía significar que la Alemania de Hitler fabricase una bomba atómica y alentando al mandatario norteamericano a que fomentase esos estudios en su país; ahora abordaré otros: su ideología, su confrontación con el régimen hitleriano (ya traté su relación con el judaísmo) y, finalmente, cómo se convirtió, ya afincado en Estados Unidos, en un objetivo del FBI.

La ideología política de Einstein

Pero para comprender realmente los apartados que acabo de mencionar es necesario antes referirse a las convicciones políticas de Einstein, a su, por decirlo de alguna manera, ideología, aunque, bien es cierto, ésta se hará evidente al ir desarrollando tales apartados. Es difícil, en cualquier caso, caracterizar ideológicamente a Einstein, pero si hay que hacerlo yo seleccionaría los siguientes rasgos: fue un internacionalista (renunció a la ciudadanía alemana en 1896, esto es, a la edad de diecisiete años, convirtiéndose en apátrida hasta que obtuvo, en 1901, la nacionalidad suiza), pacifista, progresista de izquierdas y antimilitarista (aunque, sin embargo, favoreció el inicio del programa de armamento nuclear estadounidense), demócrata, liberal, antifascista, defensor a ultranza de los derechos civiles y socialista, él que por encima de todo fue un individualista («Estoy disfrutando de la reputación de un socialista irreprochable», escribía desde Berlín a su amigo Michele Besso el 4 de diciembre de 1918, esto es, después de la derrota germana en la Primera Guerra Mundial).[58]

Son numerosísimos los escritos einsteinianos que pueden utilizarse para ilustrar en qué sentido utilizo las caracterizaciones precedentes. Me limitaré a unos pocos. Así, en un discurso que pronunció en el Carnegie Hall de Nueva York el 27 de abril de 1948, al recibir un premio mundial («One World Award»), relacionó con gran claridad internacionalismo, pacifismo, democracia y antimilitarismo:[59] «Cuando en la vida política se impone la creencia en la omnipotencia de la fuerza física, esta fuerza

adquiere vida propia y se muestra más poderosa que los hombres que pretenden utilizarla como instrumento. La propuesta militarización del país no sólo nos amenaza con una guerra inmediata, sino que, además, destruirá lenta pero inexorablemente nuestro espíritu democrático y la dignidad de la persona humana... Hay un *único* camino hacia la paz y la seguridad: el camino de la organización supranacional. El rearme de un país sólo hará que aumente la incertidumbre y la confusión general, sin llegar a proporcionar una protección efectiva».

En cuanto a sus ideas socialistas, las condensó, resaltando su dimensión económica, en un famoso artículo —«¿Por qué el socialismo?»— que publicó en la revista neoyorquina *Monthly Review* en mayo de 1949. Escribió allí:[60]

> Creo que el peor daño que ocasiona el capitalismo es el deterioro de los individuos. Todo nuestro sistema educativo se ve perjudicado por ello. Se inculca en los estudiantes una actitud competitiva exagerada; se los entrena en el culto al éxito adquisitivo como preparación para su futura carrera.
>
> Estoy convencido de que existe un *único* camino para eliminar estos graves males, que pasa por el establecimiento de una economía socialista, acompañada por un sistema educativo que esté orientado hacia objetivos sociales. Dentro de ese sistema económico, los medios de producción serán propiedad del grupo social y se utilizarán según un plan. Una economía planificada que regule la producción de acuerdo con las necesidades de la comunidad, distribuirá el trabajo que deba realizarse entre todos aquellos capaces de ejecutarlo y garantizará la subsistencia a toda persona, ya sea hombre, mujer o niño. La educación de los individuos, además de promover sus propias habilidades innatas, tratará de desarrollar en ellos un sentido de responsabilidad ante sus congéneres, en lugar de preconizar la glorificación del poder y del éxito, como ocurre en nuestra sociedad actual.

El individuo era, sin duda alguna, central en sus ideas (difícilmente habría podido ser de otra manera, habiendo sido el científico creador que fue). Refiriéndose a la Conferencia de Desarme planeada para 1932, escribió:[61]

> ¿Puedo empezar con una declaración de fe política? Es la siguiente: Se creó el Estado para servir al hombre, no al hombre para servir al Estado. Lo mismo se puede decir de la Ciencia. Son viejos proverbios, acuñados por hombres para quienes la personalidad era el supremo valor humano. No lo repetiría aquí si no corriesen el peligro de caer en el olvido, sobre todo en estos tiempos de organización y rutina. Soy de la opinión que el principal deber del Estado es proteger al individuo y darle oportunidad de desarrollar una personalidad creadora.
>
> Es decir, que el Estado debería ser servidor nuestro y no nosotros esclavos suyos. El Estado transgrede este deber cuando nos obliga por la fuerza al servicio militar y a participar en la guerra sobre todo porque el efecto y el objeto de esta esclavitud es matar seres humanos de otras naciones o al menos causar daño al libre desarrollo de sus personalidades.

Einstein y el régimen de Hitler

Durante la Primera Guerra Mundial Einstein se distinguió, como tendremos ocasión de ver en otro capítulo, como un ferviente pacifista e internacionalista. Una vez finalizada la contienda, y abolido el antiguo régimen imperial, celebró la llegada de la República de Weimar. No es sorprendente, por consiguiente, que por muy grande que fuese su prestigio científico le surgiesen (o se manifestasen con mayor libertad que antes) enemigos políticos. Ahora bien, tales adversarios centraron sus ataques en cuestiones científicas, en, sobre todo, la teoría de la relatividad.

Aunque ya se encontró con otros problemas (por ejemplo, en un curso que dio en la Universidad de Berlín en febrero de 1920), la primera gran ocasión en que se manifestó en toda su virulencia la oposición a Einstein, a su persona y su ciencia, fue el 24 de agosto de 1920, durante una reunión organizada por una Arbeitsgemeinschaft deutscher Naturforscher zur Erhaltung reiner Wissenschaft e. V. (Sindicato de Científicos Alemanes para la Conservación de la Ciencia Pura) y preparada por el activista antisemita radical y populista Paul Weyland, que fue, asimismo, el primer orador. Entre las acusaciones que

este individuo vertió figuraban las de «búsqueda de publicidad» y «plagio», añadiendo que en su opinión la teoría de la relatividad no era más que «psicosis de masas», «producto de una época confusa que ya había provocado algunas otras cosas repugnantes entre la multitud».62

Sobre este Weyland, el historiador Armin Hermann escribió lo siguiente en su biografía de Einstein:63 «¿Quién era Paul Weyland para atreverse a anunciar la oposición a Einstein de los eruditos alemanes?... Además de ser un antisemita primitivo y un antidemócrata, Weyland fue un estafador y un rufián que en su miserable vida conoció la cárcel una y otra vez. Difamó al Estado de Weimar como "república nacida de la basura y el estiércol" y después de la Segunda Guerra Mundial emigró a Estados Unidos, donde trabajó como confidente para el FBI cuando éste recopilaba material sobre Einstein, sospechoso de comunismo, en la era McCarthy». Ahora bien, Weyland no estaba solo, ni rodeado únicamente de arribistas ignorantes en materias científicas. Estuvo apoyado por Philipp Lenard y Johannes Stark, premios Nobel de Física en, respectivamente, 1905 y 1919 y futuros nazis destacados como tendremos ocasión de comprobar en otro capítulo.

Einstein asistió al acto del 24 de agosto y una semana después publicó un artículo en el *Berliner Tageblatt*, en el que escribía:64 «Un variado grupo se ha reunido para formar una asociación bajo el pretencioso nombre de "Sindicato de Científicos Alemanes", con el único propósito, de hecho, de denigrar la teoría de la relatividad y a mí como su autor ante los ojos de los no físicos. Recientemente, los señores Weyland y Gehrke pronunciaron una conferencia con este fin en la Sala de la Filarmónica de Berlín, al que asistí personalmente. Soy totalmente consciente de que ambos conferenciantes no merecen una contestación de mi pluma, pero tengo buenas razones para creer que existen otros motivos, que no son la búsqueda de la verdad, detrás de su comportamiento. (Si yo fuese un nacionalista alemán, llevase o no una esvástica, en lugar de un judío de inclinación liberal internacionalista...)

Solamente respondo porque he recibido repetidas peticiones de ámbitos bienintencionados para que haga público mi punto de vista». Y en este punto Einstein pasaba a comentar los argumentos (pseudo) científicos y filosóficos de sus oponentes.

La inquina continuaría en los años siguientes. Así, en 1922, Philipp Lenard, junto con el también físico Ernst Gehrke (que había sido el segundo orador en el acto del 24 de agosto de 1920) y diecisiete más, la mayoría físicos, matemáticos, astrónomos y filósofos, firmaron una protesta pública en contra de la teoría de la relatividad, con ocasión de las celebraciones del centenario de la Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (Asociación Alemana de Científicos de la Naturaleza y Médicos). Su protesta fue publicada en la prensa.[65] En 1931, dos años antes de que Hitler llegase al poder, se publicó un librito de 104 páginas titulado *Hundert Autoren gegen Einstein* (*Cien autores en contra de Einstein*), preparado bajo la dirección de tres personas (Hans Israel, Erich Ruckmann y Rudolf Weinmann) sin ninguna formación científica.[66]

Semejante caldo de cultivo llegó a su clímax tras la llegada al poder de Hitler el 30 de enero de 1933. Einstein, que entonces se encontraba en Estados Unidos (en Pasadena) decidió romper sus relaciones con la nación que le había visto nacer. El manifiesto que hizo público en marzo de 1933 contiene la esencia de la filosofía que defendió a lo largo de su vida en cuestiones sociales:[67] «Mientras se me permita elegir, sólo viviré en un país en el que haya libertades políticas, tolerancia e igualdad de todos los ciudadanos ante la ley. La libertad política implica la libertad de expresar las propias opiniones políticas verbalmente y por escrito; la tolerancia implica el respeto por todas y cada una de las creencias individuales. Estas condiciones no existen en Alemania hoy. Quienes más han hecho por la causa de la comprensión internacional, entre quienes se encuentran muchos artistas, sufren, en ella, persecución».

Lejos de comprender sus razones, sus colegas de la

Academia Prusiana de Ciencias reaccionaron en su contra, haciendo pública el 1 de abril la siguiente declaración:

> Con verdadera indignación, la Academia Prusiana de Ciencias ha sabido, a través de los periódicos, de la participación de Albert Einstein en la campaña de difamación emprendida en Francia y en América. Esta institución exige una inmediata explicación. Entretanto, Einstein ha anunciado su renuncia a la Academia, fundamentándola en que no puede continuar al servicio del Estado prusiano bajo su presente gobierno. En su carácter de ciudadano suizo, también se propone renunciar a la nacionalidad prusiana, que había adquirido en 1913, al ser aceptado como miembro de la Academia.
>
> La Academia Prusiana de Ciencias se siente particularmente molesta por las actividades de agitador que Einstein lleva a cabo en países extranjeros, dado que tanto esta institución como sus miembros siempre se han sentido hondamente ligados al Estado prusiano y, si bien en política se han mantenido al margen estricto de toda parcialidad partidista, siempre han sostenido y guardado fidelidad a la idea nacional. Por estas razones no existen motivos para lamentar la renuncia de Einstein.

El 5 de abril, ya de regreso a Europa e instalado en Le Coq-sur-mer, una pequeña localidad belga de la costa atlántica, bajo la protección de los reyes belgas, Einstein contestaba negando haber «tenido jamás participación en ninguna campaña de difamación en ningún sitio», y señalando que las declaraciones que había «brindado a la prensa estaban relacionadas con mi intención de renunciar a mi puesto en la Academia y de renunciar a la nacionalidad prusiana». «Mi decisión se basa», añadía, «en que no quiero vivir en un país donde los individuos no gozan de igualdad ante la ley ni de la libertad de cátedra y de expresión.»

Todavía vendrían unas pocas cartas más, bien de la Academia Prusiana o de Einstein, pero sólo citaré algunos pasajes de una respuesta que el secretario perpetuo de la Academia, H. von Ficker, hizo pública el 7 de abril. En ella se puede ver cómo un nacionalismo primitivo, una de las peores plagas que han asolado a la humanidad desde que

ésta se organizó en Estados, perturbaba el juicio de los ilustres académicos:

> Esta Academia lamenta profundamente el giro que han tomado los acontecimientos, en especial el hecho de que un hombre de la más elevada autoridad científica, a quien muchos años de labor entre los alemanes y muchos años de pertenencia a nuestra Academia tendrían que haber familiarizado con el carácter alemán y con los hábitos alemanes de pensamiento, haya elegido este momento para asociarse con un círculo extranjero que —en gran medida, sin duda, por la ignorancia de la situación actual y de los hechos— tanto daño ha hecho a nuestro pueblo alemán, al propalar juicios falsos y rumores infundados. Habíamos confiado en que alguien que pertenecía a nuestra Academia desde largo tiempo atrás sabría alinearse, más allá de sus propias simpatías políticas, en las filas de los defensores de nuestra nación y en contra de la avalancha de mentiras que se ha arrojado sobre ella. ¡En estos días de denuncias viles unas veces, ridículas otras, unas palabras bienintencionadas hacia el pueblo alemán, dichas por usted, hubieran tenido una amplia repercusión en el extranjero! Pero he aquí que su testimonio ha valido de apoyo para los enemigos del pueblo alemán y no sólo para los adversarios del gobierno actual. Esto nos ha producido una amarga y penosa desilusión que se habría traducido, aun en el caso de no haber recibido su renuncia, en su separación de la Academia.

Einstein y el FBI

La historia del FBI (Federal Bureau of Investigation) es tan compleja como, en más de una ocasión, siniestra (por antidemocrática y por responder a intereses reaccionarios incluso desde el punto de vista de los mandatos del Gobierno Federal). El caso de Einstein, al igual que el de muchos otros intelectuales, así lo demuestra. Simplemente realizaré unos pocos comentarios, ya que la relación del genial físico con la agencia ha sido estudiada recientemente por Fred Jerome en un libro titulado *El expediente Einstein*.[68] Además, los documentos pertinentes (1.427 páginas) están accesibles en Internet.[69]

En 1932, antes por tanto de que Einstein se instalara

definitivamente en Estados Unidos, huyendo del régimen de Hitler, una Corporación de Mujeres Patriotas envió un escrito al Departamento de Estado pidiendo que se prohibiese la entrada del físico alemán en el país. Como soporte legal se remitían a la Ley de Exclusión y Deportación de Extranjeros, que revisada en julio de 1920 prohibía la entrada (o si ya habían entrado, la permanencia) en Estados Unidos de anarquistas o quienes escribieran, hablaran o incluso pensaran como anarquistas. Además de considerarle un anarquista de hecho o en potencia, esta Corporación de Mujeres Patriotas pedía, de la mano de su presidenta, la señora Randolph Frothingham, que se impidiera la entrada a Einstein por ser el «líder del nuevo "pacifismo militante"»:

> ¿Quién es el líder mundial reconocido; quién, por su pertenencia directa a grupos y organizaciones comunistas y anarcocomunistas y por sus propios esfuerzos personales, está haciendo más para «*sacudir*» la «*maquinaria militar*» [como] «condición preliminar para cualquier revolución popular»?
>
> Ese líder es ALBERT EINSTEIN. *Ni el propio Stalin* pertenece a tantos grupos internacionales anarcocomunistas dedicados a promover esa «condición preliminar» de la revolución mundial y la anarquía completa, como ALBERT EINSTEIN...
>
> ALBERT EINSTEIN... propugna «actos de rebelión» contra el principio básico de todo gobierno organizado..., propone un «enfrentamiento con la autoridad pública»; admite que su «actitud es revolucionaria», que su objetivo es «ilegal» y que pretende organizar y dirigir... una «oposición militante» y «combatir» el principio básico de nuestra constitución... [P]romueve, dirige y organiza un movimiento por la «resistencia individual» ilegal y «actos de rebelión» contra los oficiales de Estados Unidos en tiempos de guerra, lo que es casi imposible sin atacar o asesinar a tales oficiales como consecuencia necesaria de tales «actos de rebelión», y cuyo... «combate» «revolucionario», «conflicto» o «rebelión» (*como el propio Albert Einstein denomina sus objetivos*) debe alentar la traición, la deserción y otros «*crímenes contra la existencia del gobierno*»; concibe o defiende un sistema de sabotaje organizado contra todos los preparativos de Estados Unidos para defenderse...

Tampoco faltaban las acusaciones de índole religiosa: «Ese extranjero promueve, con mayor amplitud y más intensidad que cualquier otro revolucionario de la Tierra, la confusión y el desorden, la duda y la apostasía... Ha suscitado la desconfianza para perturbar tanto a la Iglesia como al Estado, y dejar... en desorden y confusión las leyes de la naturaleza y los principios de la ciencia».

No se paraba en estas consideraciones «políticas» la señora Frothingham, que también arremetía contra la ciencia einsteiniana, declarando que su «teoría de la "relatividad", frecuentemente revisada, no tiene mayor importancia que la respuesta al viejo enigma académico "¿cuántos ángeles caben en la punta de una aguja...?"».

Finalmente, se señalaba que «al parecer, ni siquiera sabe inglés».

Tal vez ayude a comprender la actitud de la Corporación de Mujeres Patriotas el que durante sus estancias en Estados Unidos como profesor invitado en el California Institute of Technology los inviernos de 1930, 1931 y 1932, Einstein no se recató de efectuar manifestaciones políticas. Así, en una conferencia que pronunció en Nueva York el 14 de diciembre de 1930 manifestó, como viejo pacifista que todavía era (no le quedaba mucho: recordemos la carta que envió a Roosevelt en agosto de 1939), que «bastaría con que el 2 por 100 de los jóvenes llamados a filas se negaran a combatir para que los gobiernos se vieran impotentes. No se atreverían a enviar a tanta gente a la cárcel». Y en CalTech a comienzos de 1932 pidió un boicot económico a Japón para oponerse a la invasión de Manchuria por ese país, mientras que en otra conferencia favoreció, según el *New York Times* (26 y 28 de febrero de 1932), un sistema más igualitario: «En una época en que somos ricos en bienes de consumo y medios de producción como no lo había sido ninguna generación anterior, gran parte de la humanidad sufre carencias severas; la producción y el consumo flaquean cada vez más, y la confianza en las instituciones públicas se ha hundido como nunca... Para superar el mal, lo que nos falta no es

inteligencia, sino un compromiso responsable y desinteresado con el bienestar común».[70]

Al instalarse en Princeton y hacer de Estados Unidos su nuevo hogar, la situación con respecto al FBI no cambió. Su director (desde mayo de 1924), el temible y siniestro J. Edgar Hoover (1895-1972), terminó eligiéndole como uno de sus objetivos. Los motivos fueron diversos. Uno de los primeros es, según Jerome, su apoyo a la Segunda República española:[71] «Lo que más agravó el conflicto de Einstein con la administración Roosevelt fue su enérgico apoyo a las fuerzas antifascistas en la guerra civil española, oponiéndose a la política de neutralidad del gobierno estadounidense, que incluía un embargo de armas o soldados a ambos bandos».[72]

No ayudó tampoco a Einstein su intenso antinazismo. Y es que las simpatías de Hoover no se limitaban a la extrema derecha estadounidense: también mantenía lazos cordiales con los nazis alemanes. Envió, por ejemplo, al jefe de la Gestapo Heinrich Himmler una invitación personal para acudir en 1937 a la Conferencia Mundial de la Policía en Montreal y al año siguiente recibió calurosamente a uno de sus principales agentes en Estados Unidos. Siguiendo de nuevo a Jerome, «el descubrimiento de las tendencias de extrema derecha de Hoover y de sus eventuales contactos pro nazis sugiere un móvil para que eligiera a Einstein como diana en 1940».[73]

La campaña anti-Einstein se intensificó a partir de 1940. Aquel año, Hoover preparó un informe en el que se lee: «Se ha recibido comunicación de que en agosto de 1932 se celebró en Ámsterdam, Países Bajos, un “Congreso Mundial contra la Guerra” bajo la presidencia de “un destacado comunista francés”, Henri Barbusse. Se informa de que esa asamblea fue convocada a instancias de la Internacional Comunista y de que el doctor Albert Einstein era miembro del comité organizador internacional». Sin embargo, la realidad es que Einstein se había negado a acudir a aquel congreso, argumentando que estaba «bajo el dominio absoluto ruso-comunista».

Las mentiras, cuando no las deformaciones de la realidad, son la constante de los informes que a lo largo de los años fue acumulando el FBI. El problema residía en que Einstein era un liberal, de tendencias socialistas, pacifistas e internacionalistas. Y que, además, tomaba partido en su nuevo país en algunas causas, como la campaña que tuvo lugar en 1946 para poner fin a los linchamientos (de estadounidenses de origen afroamericano).74 Y no se trataba sólo de reunir informes, también fue vigilado y registradas sus conversaciones.

Pero no es necesario continuar. Lo único que quería es mostrar cómo Einstein fue seleccionado, debido a su fama mundial y posible influencia, por un poderoso hombre de ideas de extrema derecha, Hoover, como un magnífico objetivo para intentar combatir la ideología izquierdista que representaba. La ciencia no tenía, en este caso, ninguna importancia.

La relatividad y el arte: pintura, arquitectura y literatura

El arte, en sus diferentes manifestaciones (literatura, pintura, arquitectura, música), es uno de los elementos que configuran cualquier sociedad. Naturalmente, una cosa es constatar que aparentemente siempre han existido artistas y se ha producido arte, de una manera más o menos sofisticada, más o menos consciente, más o menos profesionalizada, y otra, muy diferente, responder a la pregunta de cuál es —si es que existe— la relación causal entre la sociedad concreta en que se da una manifestación artística determinada y el contenido y características de dicha manifestación. Semejante pregunta no es, en esencia, diferente de aquella que se formuló Boris Hessen para los *Principia* de Newton: ¿son las teorías científicas respuestas a las necesidades socioeconómicas, políticas o culturales de una época?75 En el caso del arte, la pregunta sería: ¿es un estilo artístico, un tipo con rasgos propios de manifestación artística, respuesta a las necesidades socioeconómicas, políticas o culturales (y en la cultura incluyamos también a

la ciencia) de una época? En tanto que el arte contiene un elemento de subjetividad más importante que la ciencia (ésta *pretende* describir, *objetivamente*, la naturaleza, que es como es, mientras que se puede considerar que el arte es, simplemente, lo que su autor quiere que sea, bien por sus gustos o por las modas sociales imperantes);[76] en tanto que esto es así, digo, puede parecer que sabemos responder mejor, y afirmativamente, a esa segunda pregunta que a su homóloga científica. Pero aun así, y a pesar de que resulta más asequible plantearse el problema de identificar las relaciones causales existentes entre, por ejemplo, el *blues* o el *jazz*, y la sociedad estadounidense de los años treinta o cuarenta, que el de cómo se vinculan la mecánica estadística y la política centroeuropea de la segunda mitad del siglo XIX, el problema del origen social de logros y estilos artísticos es, obviamente, difícil de resolver, además de importante, y por consiguiente merecedor de ser estudiado, más aún en una época como la que estoy considerando, en la que hubo un elemento, la relatividad y Einstein, que fue ampliamente discutido, que se convirtió en una moda y que tenía —tiene— evidentes implicaciones con respecto a la percepción (temporal y espacial), un factor importante tanto en la pintura como en la arquitectura y en la literatura.

Es importante señalar, al llegar a este punto, que no parece que sea cierto, al menos no siempre, el que el arte vaya detrás de, o se acomode a, lo que la sociedad ha aceptado por otros medios. Como veremos, el arte (la pintura en particular, pero también la literatura) nos ofrece indicios de que tal vez existiera a comienzos del siglo XX un *Zeitgeist,* un espíritu del tiempo «relativista» (en el sentido de «nueva manera de entender, de utilizar, el tiempo y el espacio»), del que las teorías einsteinianas habrían participado, en lugar de haberlo producido.

Como punto de partida hay que destacar un aspecto de las teorías de la relatividad: el que se les asignó el carácter de *revolucionarias.* Desde el primer momento (recordemos el encabezamiento del artículo que *The Times* dedicó a la

nueva teoría del campo gravitacional el 7 de noviembre: «Revolución en la ciencia») la palabra «revolución» apareció asociada a la relatividad; el que el propio Einstein recalcara en más de una ocasión, especialmente al referirse a la teoría especial, que sus contribuciones en el campo de la relatividad debían entenderse como la culminación, como una prolongación, del edificio de la física clásica, no cambió la situación para nada: Einstein continuó siendo considerado un revolucionario y su ciencia revolucionaria. Por otra parte, el aspecto de Einstein, con sus largos cabellos, y algunas de sus opiniones políticas, bastante radicales, apoyaban semejante imagen (el manifiesto pacifista que firmó con G. F. Nicolai durante la Primera Guerra Mundial, del que me ocupo en el capítulo 9, o el que en 1917 defendiese, por ejemplo en una entrevista publicada por el *Vossische Zeitung*, a su amigo, el físico, filósofo y activista del movimiento socialista, Friedrich Adler, cuando éste estaba siendo juzgado por haber asesinado, en 1916, al primer ministro austríaco, conde Carl Stürgh, debieron de favorecer la idea del Einstein radical).77 El punto es que este carácter, real y/o supuesto, de revolucionario, de radical, se amoldó magníficamente a un período de la historia contemporánea que va desde el último tercio del siglo XIX hasta bien entrado el XX, menos político y más sociocultural), en el que tuvieron lugar cambios profundos en múltiples valores sociales: las revoluciones artísticas que comenzaron a finales del siglo XIX, la revolución rusa, las crisis de valores, e incluso revoluciones, que siguieron en algunas naciones a la Primera Guerra Mundial, revoluciones como la freudiana o la tecnológica; todo ello hizo que algunos de los que sentían hervir en su cuerpo un ansia revolucionaria se volvieran hacia la teoría que la prensa había santificado como revolucionaria por antonomasia, la relatividad. Para algunos artistas ese «volverse hacia» significó el que utilizaran en ocasiones a la relatividad y a Einstein como musa o que se apropiaran de expresiones y modos relativistas o einsteinianos para adquirir (en realidad, para

simular) un barniz revolucionario. Quizá sea exponente de parte de lo que estoy señalando el que en la «Primera Feria Internacional Dadá», celebrada en Berlín entre julio y agosto de 1920 y organizada por Raoul Hausmann, John Heartfield y el célebre George Grosz, no faltase, en el gran *collage* de Hannah Hoch, *Corte con el cuchillo de cocina*, la imagen de un Einstein aparentemente sumido en profundas meditaciones. Y puede ser representativo, porque entre lo que buscaba la «Feria Dadá» estaba el representar, de una manera intrínsecamente desordenada y crítica, la realidad contemporánea. Einstein era ya, para los radicalmente revolucionarios dadaístas y en fecha tan temprana como 1920, objeto de interés.

Pintura

Al llegar a este punto tengo que efectuar algunas precisiones, que inciden en el tema, que ya mencioné, de si no existió algo así como un *Zeitgeist* del que participó la relatividad. La relatividad, en particular la teoría especial, contiene elementos —los distintos, aunque físicamente equivalentes, sistemas de referencia que se pueden utilizar para describir una misma situación física, cualquiera que sea ésta— similares en cierta manera a otros que han formado parte destacada de nuevos modos de expresión artística. Es el caso, por ejemplo, de la forma en que se ha tratado el espacio y el tiempo en pintura y en literatura; la coexistencia de más de un ángulo de visión en el lienzo, esto es, los diferentes planos y perspectivas que utilizaron los cubistas para representar una misma realidad, distorsionándola con respecto a anteriores patrones, es un buen ejemplo, como también lo son la manera en que escritores como Virginia Woolf, Vladimir Nabokov o Lawrence Durrell desarrollaron sus tramas (por el momento me limitaré a la pintura). A pesar de esta coincidencia, no parece que las teorías de Einstein sean responsables del nuevo estilo de pintura que irrumpió con el nuevo siglo.[78] De hecho, los orígenes del movimiento cubista se

encuentran en 1907, cuando pocos —y desde luego sólo físicos y algún matemático— habían oído hablar de la relatividad especial. Las obras de Braque, de Mondrian, de Picasso no eran teóricas; su método creativo se basaba en la memoria visual. Lo que realmente deseaban los pintores cubistas era librarse de lo que consideraban convenciones estilísticas rigurosas; su problema era expresar la experiencia subjetiva del artista, y cómo trasladar esa experiencia al lienzo.

Si intentamos buscar posibles influencias de la ciencia en el cubismo, nos encontraremos, como han señalado Lucy Adelman y Michael Compton, no con la física einsteiniana, sino, si acaso, con la geometría matemática. Son significativas en este sentido las siguientes líneas de la influyente obra de Albert Gleizes y Jean Metzinger, *Du cubisme*:79

> Los pintores cubistas, que estudian infatigablemente formas pictóricas y el espacio que engendran.
>
> Descuidadamente, hemos confundido este espacio con el espacio puramente visual o con el espacio euclideano.
>
> Si deseamos ligar el espacio del pintor a una geometría particular, tendríamos que remitirlo a los científicos no euclideanos: tendríamos que estudiar, con cierto detalle, algunos teoremas de Riemann.

Menos explícito en lo referente a la geometría riemanniana que Gleizes y Metzinger, pero en la misma línea que ellos y precediéndolos, están los comentarios de Guillaume Apollinaire, el escritor, poeta, crítico y campeón de los nuevos movimientos en las artes plásticas. En una conferencia pronunciada en noviembre de 1911, Apollinaire manifestaba:80

> Hoy los científicos no se limitan a las tres dimensiones de Euclides. Los pintores se han visto conducidos de manera bastante natural, se podría decir que por intuición, a preocuparse por las posibilidades de la medición espacial, que en el lenguaje de los estudios modernos son designadas con el término «La Cuarta Dimensión».

La Cuarta Dimensión dota a los objetos de plasticidad. Da al objeto sus proporciones correctas de conjunto, mientras que en el arte griego, por ejemplo, un ritmo bastante mecánico destruye constantemente la proporción.

Linda Henderson ha argumentado que comentarios como los anteriores derivan de los escritos de Henri Poincaré, algunos de los cuales, como se sabe, también leyó el joven Einstein. Lo que Poincaré había afirmado es que las personas construyen una representación tridimensional del mundo, mediante el procedimiento de añadir a la imagen bidimensional que se forma en la retina del ojo los resultados de experimentar el acuerdo existente entre el sentido de convergencia de los ojos y el sentido de alteración («adaptación») de las lentes oculares. El gran matemático francés argumentaba —especialmente en *La science et l'hypothèse (Ciencia e hipótesis*, 1902)— que aunque semejante experiencia del espacio puede acomodarse en el tri-espacio euclideano, ello es sólo por conveniencia. Nuestras experiencias de objetos en el espacio se basan en el sentido del tacto, en la tensión de los músculos y en el subsiguiente conocimiento de las posiciones que ocupan las partes de ese objeto en el espacio. Estos elementos se podrían considerar como tantas dimensiones espaciales suplementarias o agrupados (de nuevo debido a la coincidencia que existe entre sus predicciones) en una cuarta dimensión. Al expresar estos puntos de vista, Poincaré estaba continuando una tradición que se remonta, cuando menos, al obispo y filósofo George Berkeley, quien en el siglo XVIII (en su *An Essay Towards a New Theory of Vision*, 1709) había señalado que el espacio que percibimos visualmente no es el de la geometría clásica. La fuente de la percepción espacial visual, hacía notar Berkeley, es la retina, que es bidimensional. Según él, debía de existir, por consiguiente, algún tipo de «mecanismo interpretativo» en el proceso que convierte la imagen de la retina en el espacio tridimensional que «vemos» los humanos. Hermann von Helmholtz es otro punto de referencia importante, y mucho más próximo a

Poincaré, en esta tradición. Y también Ernst Mach.

Ante semejante situación, no debemos considerar como totalmente infundadas, por mucho que nos puedan sorprender, afirmaciones como las siguientes, debidas a Paul C. Vitz y Arnold B. Glimcher:[81]

> Conceptos como tiempo, espacio, y puntos de vista simultáneos... se encuentran en la tradición de la ciencia visual... sin ninguna conexión con Einstein. De hecho, es posible que el propio punto de partida de Einstein hacia el descubrimiento de la relatividad se viese influenciado por la múltiple perspectiva lógica de la ciencia visual. Por ejemplo, el problema de la simultaneidad aparece, en aspectos importantes, por primera vez en los análisis teóricos y aplicados de Muybridge y de Marey. Estos investigadores fotografiaban a menudo el mismo objeto en movimiento, desde dos o tres perspectivas y distancias al mismo tiempo. Si uno considera a cada cámara como un «observador», entonces la estructura de esta representación sugiere un análisis «relativista» del espacio y el tiempo. Si esta hipótesis relativa a una importante influencia conceptual en Einstein fuese correcta, entonces se podrían encontrar evidencias de ella en algunos lugares: *a*) La física francesa de la década de 1890 podría haber influido en Marey-Muybridge, especialmente Poincaré y sus asociados; *b*) El trabajo de Einstein en la oficina de patentes suizo podría haber incluido patentes de cámaras fotográficas.

No conozco ningún hecho o documento que apoye factualmente semejante interpretación del origen de la teoría de la relatividad especial, pero sería fantástico, una muestra portentosa de unidad entre ciencia y sociedad, si se pudiese demostrar.

No parece, por consiguiente, que la relatividad haya influido en la aparición de nuevos estilos pictóricos como el cubismo. Tampoco existen evidencias de que contribuyese a su desarrollo. Otra cosa es, por supuesto, que la relatividad no haya servido para ayudar a reforzar, desde el punto de vista de planteamientos intelectuales, de elaboraciones programáticas, incluso, de esfuerzos propagandísticos, estos movimientos, que fueron generando en torno suyo, al transcurrir el tiempo, una filosofía propia. (Naturalmente,

también se dio el caso de algunos pintores —Salvador Dalí, por ejemplo— que pretendieron reaccionar ante la ciencia relativista del espacio-tiempo, incluyéndola en sus obras.) Precisamente por esa consistencia existente entre algunos de los elementos de nuevos movimientos artísticos y la relatividad, es posible pensar en ese *Zeitgeist* común al que ya me he referido. El caso de la literatura, como veremos muy pronto, confirma en parte este planteamiento, aunque ahí se pueden detectar influencias específicas de la relatividad en ciertos escritores.

Arquitectura

Una cuestión muy interesante, relacionada con los temas que estoy considerando, es si el tratamiento a que sometieron al espacio los pintores cubistas ejerció alguna influencia en la arquitectura que surgió durante las primeras décadas del siglo XX. Parece razonable suponer que existió tal influencia, pero yo no quiero entrar en ese problema, sino, simplemente, señalar que, al margen de otras posibles relaciones causales, algunos de los más destacados ideólogos de la nueva arquitectura también participaron, al igual que pintores, del nuevo *Zeitgeist* del espacio-tiempo. Que así fue realmente es algo difícil de negar cuando se leen, por ejemplo, algunos escritos del arquitecto y pintor holandés Theo van Doesburg, el líder del grupo de la revista *De Stijl* (*El Estilo*), y que, asimismo, influyó en la Bauhaus (en los años 1921-1922, por ejemplo, impartió en Weimar seminarios sobre «Conceptos fundamentales del nuevo arte figurativo»). (Es importante advertir que las ideas defendidas en *De Stijl* no se limitaban a la arquitectura; de hecho, la pintura fue una preocupación más frecuente del movimiento stijliano.)[82] En un artículo publicado en 1919, van Doesburg mostraba el mismo tipo de vínculo con la geometría matemática que el que nos hemos encontrado en Apollinaire, Gleizes y Metzinger:[83]

> Cuando el ojo toma conciencia de un número limitado de

> dimensiones espaciales, digamos tres, la mente siempre toma conciencia de más dimensiones espaciales, digamos de cuatro a *n*. Puesto que la mente se esfuerza por expresarse a fin de reconocerse a sí misma en esa expresión y puesto que las representaciones tridimensionales son incapaces de tal expresión, debe quedar claro, para todo aquel que ha superado el nivel de la visión materialista de la vida, que esa expresión espiritual sólo puede darse a costa de las representaciones tridimensionales... Está claro que el espacio en cualquiera de las artes visuales, y tanto interior como exteriormente, se encuentra en el centro de las preocupaciones del artista, y al contemplar una obra de arte es posible ver si ha sido realizada según el ojo o según el espíritu, o dicho de otro modo, si una obra de arte proyecta la realidad tridimensional o el espíritu *n*-dimensional... De hecho el desarrollo humano no es sino la conciencia de un número cada vez mayor de dimensiones espaciales.

Cinco años más tarde, el mismo van Doesburg publicaba un manifiesto titulado «Hacia una arquitectura plástica», en el que se puede adivinar ya una influencia real de la física relativista —física que por aquellos mismos años estaba siendo, como vimos, intensamente comentada—, una preocupación por incorporar al diseño arquitectónico los nuevos conceptos físicos en boga.[84] Dos son los puntos de aquel manifiesto que muestran una mayor influencia de la teoría de Einstein: «ESPACIO Y TIEMPO. La nueva arquitectura no sólo tiene en cuenta el espacio, sino también el tiempo de la arquitectura. La unidad de tiempo y espacio da a la arquitectura un aspecto nuevo y completamente plástico (aspectos plásticos cuatridimensionales temporales y espaciales)».

La manera concreta en que semejantes ideas teóricas se llevaron a la práctica arquitectónica es, naturalmente, otra cuestión, aunque sí hay que señalar que la conexión entre el mundo relativista y la arquitectura es más teórica que práctica.[85]

Aunque no representa ninguna conexión directa entre relatividad y arquitectura del tipo de las que he mencionado, es interesante mencionar que Einstein también se vio asociado con el estilo expresionista-futurista en

arquitectura. En 1919 el arquitecto expresionista (y en cierta medida futurista) Eric Mendelsohn diseñó la «Torre Einstein». Este edificio, que se terminó de construir en Potsdam en 1921, fue planeado para llevar a cabo comprobaciones experimentales concernientes a la relatividad general (en concreto, el efecto del desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales); incluía laboratorios y una torre de 18 metros de altura. Se le considera el edificio canónico de la arquitectura expresionista.

Literatura

Para finalizar esta sección analizaré brevemente el caso de la literatura.[86]

Las repercusiones de Einstein y la relatividad en la literatura de la década de 1920 se pueden clasificar en varios grupos: por un lado obras, como el poema de Archibald MacLeish titulado «Einstein» (1926), en las que se homenajea al científico, explicando al mismo tiempo detalles de sus teorías; luego están los autores —principalmente novelistas— que estructuraron sus obras en una manera que incorpora algunos de los principios relativistas, básicamente el de la «pluralidad de perspectivas» (contar una historia desde diferentes puntos de vista). En esencia, semejante planteamiento no difiere del que caracteriza a la pintura cubista. Así, para Virginia Woolf (piénsese en *Las olas*), al igual que para Picasso, un objeto o suceso visto desde varios puntos de vista es más real que el descrito por una sola persona. Ahora bien, como en el caso de la pintura, en la literatura nos encontramos con escritores que utilizaron la técnica de «múltiples narradores» antes de Einstein (se emplea, por ejemplo, en algún pasaje de *Moby Dick*, de Herman Melville, o en *La carta escarlata*, de Nathaniel Hawthorne), por lo que es imposible que en tales casos la relatividad tuviera algo que ver. El que semejante tradición, esta técnica de escribir, estuviese de alguna manera «en el aire», debe tenerse en

cuenta a la hora de intentar establecer cualquier conexión simplista entre la literatura y la física einsteiniana. No obstante, sabemos que esa física influyó de hecho en autores importantes que desarrollaron el estilo de las «múltiples perspectivas». Lawrence Durrell es un ejemplo prominente; en la nota que antecede a la segunda novela de *El cuarteto de Alejandría*, se lee:

> La literatura moderna no nos ofrece ninguna unidad; por consiguiente, me he vuelto hacia la ciencia y estoy tratando de completar una novela en cuatro niveles cuya forma se basa en la proposición relativista.
>
> Tres lados de espacio y uno de tiempo constituyen la receta de un continuo. Las cuatro novelas siguen este esquema.

En *Ada o el ardor* (1969), de Vladimir Nabokov, el protagonista es un filósofo y psicólogo, van Veen, que aparece desarrollando una teoría del tiempo. En la «Cuarta Parte» de esa novela, en la que no faltan referencias a (Hermann) Minkowski, (Samuel) Alexander o, en una curiosa mezcolanza temporal, (Gerald) Whitrow, van Veen discute el tiempo físico clásico, el bergsoniano, el einsteiniano, así como su propia versión de qué es el tiempo. En un pasaje memorable, el protagonista, que reconoce no ser un simpatizante de la teoría de la relatividad, manifiesta:

> Ahora estamos preparados para enfrentarnos con el Espacio. Rechazamos sin remordimientos el concepto artificial de un tiempo viciado por el espacio, parasitado por el espacio, el espacio-tiempo de la literatura relativista. Quien encuentre gusto en ello, puede sostener que el Espacio es la cara externa del Tiempo, o el cuerpo del Tiempo, o que el Tiempo está empapado de Espacio, o viceversa, o que, de determinada y curiosa manera, el Espacio es meramente un subproducto del Tiempo, o, mejor, su cadáver, o que, a fin de cuentas, el Tiempo *es* el Espacio; esa clase de parloteo puede resultar agradable, sobre todo cuando uno es joven; pero nadie conseguirá hacerme creer que el movimiento de un objeto (digamos, una aguja) a través de un determinado trozo de Espacio (digamos, la esfera de un reloj) sea algo de la misma naturaleza que el «paso» del

Hay quien también ha visto analogías entre el «estilo relativista» y obras de Thomas S. Eliot, probablemente el mejor conocedor de la física moderna de todos los literatos de la primera mitad del presente siglo, y de William Faulkner, pero la verdad es que es difícil establecer relaciones claras en estos casos.

Y también está James Joyce. Si pensamos en *Ulises*, publicada en París en 1921, probablemente la novela moderna más influyente, aunque desde luego no la más leída, vemos que en ella se incorporan, en grado extremo, todas las técnicas de pluralidad de perspectivas y distorsiones espacio-temporales en el discurso narrativo a las que nos hemos estado refiriendo. El *Ulises* joyceano no se desarrolla de una manera más o menos lineal, sino a través de la yuxtaposición simultánea de episodios que exigen que el lector continuamente esté relacionando fragmentos. El que pueda existir algún tipo de conexión específica entre el modo de escribir el *Ulises* y las peculiaridades de la relatividad viene sugerido, aunque, por supuesto, no demostrado, por detalles como la sección «Ítaca», que Joyce escribió en 1921, cuando Einstein y su teoría todavía se encontraban en los titulares de la prensa. No sólo está el que Joyce describiera «Ítaca» como «una sublimación matemático-astrónomico-geométrico-química», sino también el que mientras revisaba esa sección y corregía las pruebas señaló que «la cuestión de los errores del impresor no es el punto principal. El episodio debería ser leído por alguna persona que sea un físico, matemático y astrónomo, además de un número de otras cosas». Asimismo, se ha apuntado que más explícita es la influencia de Einstein y de los problemas espacio-temporales en otra de las obras de Joyce, *Finnegans Wake* (publicada en 1939).87

Finalmente, están los autores que utilizaron al mundo físico desvelado por Einstein para desarrollar la trama de sus obras. Como apunté antes, la ciencia-ficción es el género literario en donde más se observa este tipo de

influencia, como ilustra el caso de Howard Phillips Lovecraft (1890-1937), uno de sus escritores más representativos. Finalizaré esta sección con algunos comentarios sobre el papel que los temas einsteinianos desempeñaron en la obra del denominado «solitario de Providence».88

Lovecraft, al igual que otros contemporáneos suyos, participó del interés suscitado por las teorías espacio-temporales einsteinianas. De hecho, como la prensa y el público, identificó a Einstein como el científico por excelencia, como el genio humano que había ido más lejos en los misterios del pensamiento. Así, en *El caso de Charles Dexter Ward* (1927), situaba implícitamente a Einstein en la frontera del conocimiento debido a los seres humanos, al hacer manifestar a Ward que «Ni siquiera Einstein... podía revolucionar de un modo más radical las teorías científicas en boga».

Lovecraft, interesado y buen conocedor de la ciencia de su tiempo, aceptaba plenamente la física relativista, como demuestra su correspondencia. Y en sus obras introdujo ese mundo físico, pero recurriendo al recurso literario de trastocarlo, de transcenderlo; algo natural, por otra parte, en quien había dicho que entre sus experiencias emocionales más intensas se encontraba «la lucha del ego por trascender el orden establecido del tiempo... espacio, materia, fuerza, geometría y ley natural».89 Y se aplicó a esta lucha en su literatura, que en esencia resumió en la siguiente frase: «Mi concepción de la fantasía, como una genuina forma artística, es una extensión más que una negación de la realidad».90

Son muchos los ejemplos que se pueden utilizar para mostrar cómo llevó a la práctica literaria semejantes planteamientos. Me limitaré a uno. En *A través de las puertas de la llave de plata* (escrita en colaboración con E. Hoffmann, 1934) se puede comprobar cómo recurrió a la idea de que las cuatro dimensiones del espacio-tiempo relativista no eran —para él, el Lovecraft literato— más que una primera aproximación a la realidad:

> Le hicieron saber [a Randolph Carter] que cada figura espacial no es más que el resultado de la intersección, en un plano, de una figura correspondiente que posee además otra dimensión, como el cuadrado resulta de la sección de un cubo, o el círculo de la de una esfera. El cubo y la esfera, con sus tres dimensiones, corresponden a su vez a la sección de otras figuras de cuatro dimensiones, que los hombres conocen sólo por sueños y conjeturas; y éstas a su vez, son sección de otras figuras de cinco dimensiones, y así sucesivamente, hasta remontarse a la inalcanzable infinitud arquetípica. El mundo de los hombres y de los dioses humanos es tan sólo una fase infinitesimal de un ser infinitésimo: la fase tridimensional de la pequeña totalidad que termina en la Primera Puerta, donde 'Unir at-Tawil dicta sus sueños a los Primigenios. Aunque los hombres la proclamen como única y auténtica realidad, y tachen de irreal todo pensamiento sobre la existencia de un universo original de dimensiones múltiples, la verdad consiste en todo lo contrario. Lo que llamamos sustancia y realidad es sombra e ilusión, y lo que llamamos sombra e ilusión es sustancia y realidad.

Relatividad y filosofía

La filosofía es una disciplina con una fuerte dimensión académica, y en ese sentido podría pensarse que cómo es que incluyo una sección como la presente al analizar las relaciones ciencia-sociedad a la luz de la relatividad. La respuesta a semejante pregunta es, en realidad, sencilla: ciertamente, la filosofía es una disciplina académica, pero también es muy sensible a las preocupaciones, a los temas, sociales; tiene una indudable dimensión social. Pensemos en cuán frecuente es que los filósofos se dediquen a analizar problemas de la ética, la filosofía del derecho o de la religión, o de la epistemología, simplemente porque tales problemas son —en el buen sentido de la palabra— «de actualidad». Pero, de hecho, no es necesario recurrir a los anteriores argumentos para justificar que vaya a tratar algunas de las relaciones existentes entre filosofía y relatividad durante la primera mitad del siglo xx, y no lo es porque una manera de ver cómo interacciona una ciencia, o

una teoría, con la sociedad, es descubriendo cómo penetra en otras disciplinas. En el caso de la filosofía y la relatividad tendremos ocasión de comprobar, además, que la teoría einsteiniana modificó, bien los comportamientos, las expectativas o lo que los filósofos consideraban como planteamientos correctos; esto es, que actuó, que influyó, sobre personas.

Una de las ramas que dominó la filosofía durante el siglo xx fue la filosofía de la ciencia. Ahora bien, cuando se mira a esa filosofía de la ciencia nos encontramos con que una parte esencial de las tendencias que la han configurado, nacieron, o, cuando menos, se vieron modificadas a raíz de la formulación einsteiniana de las teorías especial y general de la relatividad. Veamos algunos ejemplos en este sentido.

Por los alrededores de 1922, y con Moritz Schlick como cabeza visible, se agruparon, bajo la denominación de «Círculo de Viena», filósofos y científicos con preocupaciones filosóficas como Rudolf Carnap, Herbert Feigl, Hans Hahn, Philipp Frank, Kurt Gödel, Victor Kraft, Otto Neurat y Friedrich Waismann. En realidad, la influencia del Círculo no se limitaba a Viena, extendiéndose más lejos; por ejemplo, a Berlín, en donde entonces se encontraba Hans Reichenbach (existieron también conexiones entre el Círculo, Karl Popper y Ludwig Wittgenstein). Que el Círculo de Viena, y el positivismo lógico, con el que está íntimamente ligado (aunque no haya que reducir completamente éste a aquél), ha sido una parte importante de la filosofía del siglo xx, es algo que pocos negarán. Pues bien, ocurre que la filosofía del Círculo de Viena tomó buena nota de las enseñanzas epistemológicas y metodológicas que se derivan de la relatividad. Si se prefiere, basta con decir que muchos de los miembros del Círculo de Viena se vieron muy influidos por las nuevas teorías de Einstein. Así, el primer artículo de Schlick que atrajo la atención en el mundo germanoparlante fue el publicado en 1915 y titulado «El significado filosófico de la teoría de la relatividad» (la mayor parte del artículo se refería a la teoría especial;[91] recordemos también que

Schlick realizó su tesis doctoral en física con Max Planck, quien fue uno de los primeros en aceptar y promover las dos teorías relativistas). Dos años más tarde, Schlick publicaba un pequeño libro titulado *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik* (*Espacio y tiempo en la física contemporánea*). En su tesis doctoral (*Der Raum* [*Sobre el espacio*], 1921), Carnap discutía, entre otros temas, el papel de la geometría no euclídea en la relatividad general. Son conocidos los trabajos filosóficos que Philipp Frank, quien sucedió a Einstein en la cátedra que éste llegó a ocupar en la Universidad Alemana de Praga, dedicó a la física relativista. El mismo Gödel, aunque sólo a finales de la década de los cuarenta y tras encontrar su modelo cosmológico relativista, analizó las implicaciones filosóficas de la relatividad.92

Más claro es el caso del miembro berlinés del Círculo, Reichenbach, autor de una larga lista de artículos y libros dedicados a aspectos filosóficos de las teorías relativistas einsteinianas (en 1920, por ejemplo, Reichenbach publicó el libro *Relativitätstheorie und Erkenntnis Apriori* [*La teoría de la relatividad y el conocimiento a priori*]). Recordando los comienzos de su carrera, Reichenbach escribió, en 1932:93 «En mi tiempo libre [*circa* 1918] estudié la teoría de la relatividad; asistí a las clases de Einstein en la Universidad de Berlín... La teoría de la relatividad me impresionó inmensamente y me llevó a un conflicto con la filosofía de Kant. La crítica de Einstein al problema del espacio-tiempo me hizo darme cuenta de que el concepto de *a priori* de Kant no se puede mantener».

Otro ejemplo destacado es el de Karl Popper, que aunque no fue un miembro del Círculo de Viena, sí que mantuvo, como ya apunté, lazos con él. Con Popper, especialmente después de la publicación, en 1934, de su *Logik der forschung* (*Lógica de la investigación científica*), cobró fuerza una de las ramas de la filosofía de la ciencia que más popularidad alcanzó en el siglo XX, tanto entre los filósofos como entre científicos y público en general, la metodología de la ciencia. Pues bien, las ideas de Popper en

este área surgieron en buena medida como una reflexión filosófica ante los trabajos de Einstein. Dejemos que sea el propio Popper, en su autobiografía, quien nos lo explique:94

> Volviendo la vista hacia aquel año [1919] me maravilla el que, en un período tan corto, le pueda ocurrir tanto al desarrollo intelectual de uno mismo. Puesto que fue en aquella época cuando supe acerca de Einstein; y esto llegó a ser una influencia dominante en mi pensamiento —a la larga tal vez la influencia más importante de todas...
>
> [Max Eistein] me llamó la atención ante el hecho de que el mismo Einstein consideraba como uno de los principales argumentos en favor de su teoría [de la relatividad general] el que condujese a la de Newton como una aproximación muy buena; también, el que Einstein, aunque convencido de que su teoría era una aproximación mejor que la de Newton, la considerase como meramente un paso hacia una teoría todavía más general...
>
> Sin duda alguna, Einstein tenía todo esto, y especialmente su propia teoría, en mente cuando, en otro contexto, escribió: «No podría existir mejor destino para una teoría física que el que señalase el camino hacia una teoría más amplia, en la que continuase viviendo como un caso límite». Pero lo que más me impresionó fue la clara afirmación de Einstein en el sentido de que consideraría su teoría insostenible si no pasase ciertas pruebas. Así escribió, por ejemplo: «Si el desplazamiento hacia el rojo de las líneas espectrales debido al potencial gravitatorio no existiese, entonces no se podría seguir manteniendo la teoría de la relatividad general».
>
> Aquí teníamos una actitud radicalmente diferente de la dogmática de Marx, Freud y Adler, y aún más de la de los seguidores de éstos. Einstein estaba buscando experimentos cruciales.
>
> Ésta, sentí entonces, era la verdadera actitud científica. Radicalmente diferente de la actitud dogmática que constantemente anunciaba el hallazgo de «verificaciones» para sus teorías favoritas.
>
> Así es como llegué, hacia finales de 1919, a la conclusión de que la actitud científica era la actitud crítica, que no buscaba verificaciones sino pruebas cruciales; pruebas que podrían *refutar* la teoría que se está cuestionando, pero que nunca la podrían establecer.

Otro ejemplo es el del operacionalismo —un punto de vista filosófico estrechamente ligado al positivismo lógico— cuyo máximo exponente fue el físico estadounidense Percy W. Bridgman. El operacionalismo, que desempeñó un cierto papel en las discusiones filosóficas, especialmente entre físicos, durante la primera mitad del siglo XX, surgió cuando Bridgman se dio cuenta de que lo que hizo Einstein en su teoría de la relatividad especial fue «llevar a cabo, con más detalle que lo hecho hasta entonces, un análisis de las operaciones físicas que se utilizan en la medida de longitud y tiempo».95 En particular, Bridgman, en el artículo que acabo de citar, al igual que en su clásica obra, *The Logic of Modern Physics* (*La lógica de la física moderna,* 1927), o en otros trabajos, hacía notar que el concepto de «simultaneidad absoluta» no tiene ningún significado empírico, que es preciso incorporar a nuestras teorías —como hizo Einstein— el conjunto de operaciones que nos permiten medir, en diferentes sistemas inerciales, el parámetro tiempo. De todo esto, que está ligado a *una* teoría específica como es la relatividad especial, Bridgman extrajo el *principio general* de que todo concepto que no esté asociado a un proceso de medida debe ser excluido de la física.96 Hoy sabemos que la física es demasiado compleja, conceptual y metodológicamente, como para cumplir este sueño de tan fuertes reminiscencias machianas.

Mis anteriores comentarios relativos a la influencia de la relatividad en la filosofía del siglo XX se han referido básicamente a líneas de pensamiento filosófico que se desarrollaron inicialmente en países centroeuropeos, en los que la relación ciencia-filosofía era, por lo que sabemos, más fuerte que en otros lugares; a continuación, voy a mencionar, aunque superficialmente, algunos rasgos de la recepción dada a las ideas relativistas de Einstein entre los filósofos de una nación bastante diferente, Gran Bretaña. El motivo de hacer esto es que el caso de los filósofos británicos muestra con claridad un aspecto más del impacto que las teorías de Einstein causaron a raíz del anuncio de los resultados del eclipse de 1919. Determinar si es posible

o no extrapolar las conclusiones que se extraen del ejemplo británico a otras comunidades nacionales es algo que debe esperar a estudios específicos, aunque los resultados de investigaciones referentes a Francia o a Alemania parecen sugerir que en alguna medida, y desde luego con diferencias que nacen de las propias peculiaridades del país en cuestión, sí que es posible.

Cuando se estudia la filosofía británica del primer cuarto del siglo (dos elementos importantes para tal estudio son las revistas *Mind* y *Proceedings of the Aristotelian Society*), uno se encuentra con que con anterioridad a 1920 las referencias a la relatividad einsteiniana fueron muy pocas y prácticamente limitadas a la teoría especial, a la que en general se veía como un apartado del electromagnetismo, que, en manos de Hermann Minkowski, podía conducir a ciertas implicaciones acerca de la estructura, euclideana o no, del espacio (un caso diferente es el de Alfred North Whitehead, quien desarrolló su propia teoría de la relatividad).97 A partir de 1919 la situación cambió sustancialmente, aunque no se pueda decir que el número de filósofos involucrados fuese muy grande. Fue especialmente entre 1920 y 1925 cuando los filósofos británicos más comentaron la relatividad; se escribieron libros y artículos, y la Aristotelian Society y la Mind Association organizaron debates. Entre los filósofos más activos durante aquel período se encuentran Whitehead, H. Wildon Carr, C. D. Broad, Richard B. Haldane, Dorothy Wrinch y Bertrand Russell. Pero no fueron los únicos. Un hecho digno de destacar es que aunque ciertamente existieron filósofos que se oponían a la relatividad, obstinándose en no abandonar un mundo, el newtoniano, en el que las certidumbres (lo absoluto) eran, pensaban, más firmes, la mayor parte de los filósofos británicos que participaron en la discusión de las implicaciones filosóficas de la relatividad no sólo la aceptaban, sino que también argumentaban que los planteamientos einsteinianos favorecían sus propios puntos de vista filosóficos. Idealistas y realistas, en particular (recuérdese que la polémica

«idealismo» frente a «realismo» se había sentido con bastante crudeza en la filosofía británica), defendían sus propios esquemas ayudándose de la relatividad. Al repasar los libros y artículos de aquellos años, uno se llega a perder en una auténtica maraña de argumentos y contraargumentos relativos a qué es lo que implicaba la relatividad o qué era lo que Einstein había querido decir. Unos ejemplos tomados de la discusión organizada por la Aristotelian Society y que tuvo lugar el 20 de febrero de 1922, con la participación de Wildon Carr, Percy Nunn, Whitehead y Wrinch, servirán para ilustrar este punto. Para el idealista Wildon Carr la teoría de Einstein era «una interpretación científica de la experiencia basada en el principio de relatividad. Este principio está en completo acuerdo con la doctrina neoidealista en filosofía, y en total desacuerdo con el punto de vista fundamental de toda forma de neorrealismo». Por contra, el realista Nunn argumentaba que, *al igual que Einstein*, los neorrealistas «habían enseñado explícitamente que las varias apariencias de la "misma cosa" para diferentes observadores no son reacciones mentales diversas ante una idéntica causa material, sino que son datos de los sentidos o "sucesos" que pertenecen a una única secuencia histórica». Finalmente, Dorothy Wrinch —una graduada en matemáticas y filosofía por el Girton College de Cambridge y que durante un tiempo fue pupila de Russell— pensaba que la teoría de la relatividad no tenía nada que ver ni con idealismo ni con realismo (de hecho, Wrinch utilizó las teorías de Einstein para apoyar sus propios planteamientos, muy influidos por un logicismo *à la* Whitehead y Russell).[98]

Demostrando una gran agudeza, Bertrand Russell comenzaba, en 1926, un artículo titulado «Consecuencias filosóficas de la relatividad», señalando que: «Ha existido una tendencia, no rara en el caso de una nueva teoría científica, de que todo filósofo interprete el trabajo de Einstein de acuerdo con su propio sistema metafísico, y que sugiera que el resultado es un gran fortalecimiento de las opiniones que el filósofo en cuestión mantenía previamente.

Esto no puede ser cierto en todos los casos; y puede esperarse que no sea cierto en ninguno. Sería decepcionante si un cambio tan fundamental como el que ha introducido Einstein no implicase ninguna novedad filosófica».[99] A pesar de todo, e inevitablemente, el propio Russell no se libró completamente de entrar en el terreno que él mismo criticó en 1926. Así, durante un debate que mantuvo en las páginas de *Mind* en 1922 con Charles A. Strong, Russell no dudó en utilizar la teoría general de la relatividad para apoyar su teoría de la percepción.[100]

Ante reacciones como las que acabamos de ver, uno no puede evitar preguntarse cómo es posible que se viese un mismo objeto, la relatividad, de maneras tan diferentes. Tal vez fuese porque los análisis filosóficos a los que se sometió la teoría no fueron correctos, o porque no se la entendió realmente, pero también existe la posibilidad de que el problema residiese —resida— en una indefinición, en la maleabilidad, de la propia filosofía.

Einstein y España

Hemos visto que Albert Einstein no sólo fue un gran científico, sino que también se convirtió en un personaje de fama mundial. Y esa mundialización de su figura no se limitó a la difusión de sus contribuciones científicas a naciones que no aportaron nada al desarrollo de sus teorías, sino que también se extendió a través de los viajes que, una vez lograda, a partir de noviembre de 1919, esa celebridad, realizó a otros países, o como consecuencia de ciertas circunstancias que tuvieron que ver con la política, cuando Adolf Hitler llegó al poder en Alemania.

España, una nación que forma parte del grupo de los países que en nada se distinguieron en lo que al desarrollo de las teorías einsteinianas se refiere, también participó en esos dos modos de relaciones con Einstein. Primero, mediante una invitación, que se hizo efectiva en 1923, y luego, una década después, ofreciéndole una cátedra en la Universidad de Madrid. En esta sección me ocuparé de

ambos sucesos, aunque daré más detalles del segundo, y ello no sólo por ser menos conocido que el primero, sino también porque muestra unas facetas de la relación ciencia-sociedad que normalmente permanecen ocultas. Antes, no obstante, mencionaré algunos aspectos de la introducción de sus teorías en España.

La física de Einstein llega a España: primeras noticias

Antes de que Einstein visitase España en 1923, llegaron noticias de sus aportaciones científicas. Las primeras de tales noticias aparecieron dentro de exposiciones de algunos científicos españoles dirigidas a un público de profesionales, exposiciones que pretendían informar a audiencias de científicos de unos nuevos avances realizados en el ámbito de la física. Tres nombres destacan en la introducción de las teorías de Einstein en España: los catedráticos de universidad y en su momento miembros de la Real Academia de Ciencias, Esteban Terradas (1883-1950), Blas Cabrera (1878-1945) y José María Plans (1878-1934), del que no me ocuparé en esta sección sino más adelante.

Comenzando por el ingeniero, matemático y físico catalán, tenemos que Terradas fue probablemente el primer español que abordó, en octubre de 1908, cuestiones cuánticas, uno de los dominios, recordemos, en los que se había distinguido Einstein desde 1905. Me estoy refiriendo a dos conferencias que Terradas pronunció durante el primer congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, celebrado en Zaragoza. Una se tituló «Sobre la mecánica estadística» y fue pronunciada en las sesiones de la Sección de Ciencias Exactas, y la otra, «Teorías modernas acerca de la emisión de luz» (Sección de Ciencias Físico-Químicas). Al año siguiente, al tomar posesión de su puesto en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, también habló de este tema (*«Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos en movimiento»* se tituló su disertación), aunque no sólo de él, ya que se ocupó,

asimismo, de la teoría especial de la relatividad. Sucede, sin embargo, que en estos escritos Terradas se limitaba a analizar las aportaciones de Planck, no mencionando el artículo de Einstein de 1905, «Sobre un punto de vista heurístico acerca de la producción y transformación de la luz». Tampoco mejoró la atención que dedicó a Einstein en el texto *Els elements discrets de la materia i la radiació*, fruto del curso que Terradas desarrolló en 1915 dentro de los «Cursos Monogràfics d'Alts Estudis i d'Intercanvi», que él mismo organizó dentro del Institut d'Estudis Catalans.

Como señalé antes, Terradas se ocupó de la teoría de la relatividad restringida, pero tampoco dio allí muestras de conocer demasiado bien las aportaciones de Einstein. Así, en su discurso de entrada en la Academia de Barcelona, al tratar la teoría de la relatividad especial únicamente mencionó en dos ocasiones a Einstein, pero equivocándose —escribió «Eisenstein» (¿errata o ignorancia?)— y subordinándolo a Lorentz (hablaba de «principio de la relatividad de Lorentz-Einsenstein».

Pasando ahora a Blas Cabrera, tenemos que se distinguió más que Terradas en lo referente a la difusión de la física cuántica a la comunidad científica española, pero esto no significa que aludiese demasiado a Einstein. Se ocupó, sobre todo, primero de las ideas de Planck y luego de cuestiones como el átomo de Bohr, además de, más tarde, los temas a los que él se dedicaba: el magnetismo. Posteriormente, Cabrera estuvo mucho más activo en lo que se refiere a la difusión de las teorías relativistas de Einstein, ámbito en el que terminaría siendo uno de los españoles más distinguidos, si no el que más.

Intentos de que Einstein visitase España en 1920 o 1921

Las anteriores menciones de trabajos de Einstein tuvieron lugar antes de que el creador de las dos teorías de la relatividad se convirtiese en una figura de dimensión mundial en noviembre de 1919. A partir de entonces todo cambió: la fama le inundó, valga la metáfora, y como

hemos visto Einstein recibió invitaciones de todas partes del mundo.

España fue uno de los lugares desde donde llegaron esas invitaciones. Y muy pronto. Así, el 22 de abril de 1920, el matemático riojano Julio Rey Pastor, catedrático de la Universidad de Madrid, escribía a Einstein, desde Leipzig, invitándole en nombre del Institut d'Estudis Catalans y de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas a viajar a Barcelona y Madrid:[101]

> ¡Muy estimado profesor!
>
> Como le comuniqué en mi última visita, he avisado al Institut d'Estudis Catalans y a la Junta para Ampliación de Estudios en Madrid (los dos institutos de alta cultura e investigaciones científicas más significativos en España) que todavía es posible que según nuestra invitación usted pueda ofrecernos el honor de su visita.
>
> La Diputación de Cataluña me ha avisado de que tengo que notificarle inmediatamente, antes de que reciba el aviso oficial, la posibilidad de dar unas conferencias en el Institut d'Estudis en Barcelona. Cuente con total libertad para establecer la fecha, tema y número de las conferencias en caso de que sea tan amable de aceptar nuestra invitación.
>
> La Diputación ha destinado para sus gastos de viaje, residencia, etc., el importe de 3.000 pesetas.
>
> Espero recibir en los próximos días una respuesta favorable de la Junta para Ampliación de Estudios de Madrid ya que el propio ministro se ocupa personalmente con gran interés de este asunto. En ese caso, usted podría dar ambos ciclos de conferencias y lecturas en un breve espacio de tiempo en Madrid y Barcelona.
>
> Ya he advertido a ambos institutos de que es muy difícil que usted deje sus tareas. Pero esperamos que haga lo posible y la cultura española le quedará muy agradecida.

Einstein debió de contestar rápidamente al matemático español ya que éste le escribía de nuevo el 28 de abril (también desde Leipzig):

> ¡Muy estimado profesor!
>
> Muchas gracias por su amable carta que no nos quita la esperanza de esperar su visita. Según una carta de Madrid usted

recibirá en los próximos días también la invitación oficial madrileña.

Su *temor por la lengua* no será problema. Nuestro francés es bastante deficiente y usted puede cometer errores sin riesgo.

Si lo precisa, las conferencias pueden estar circunscritas solamente a una pequeña audiencia (de la cual muchas personas hablan también alemán).

El mejor momento para los dos ciclos ... de conferencias sería en otoño. No nos lo debemos de plantear para el verano.

Espero su decisión favorable y con mi mayor agradecimiento quedo a su disposición.

Y el 11 de mayo, antes de regresar a España, insistía:

¡Muy estimado profesor!

Antes de mi marcha querría rogarle de nuevo que haga todo lo posible por aceptar nuestra invitación. Según el mensaje de Madrid, la Junta para Ampliación de Estudios ha dispuesto al efecto también 3.000 pesetas. En el caso de que usted pueda quedarse más de un mes en Madrid se subiría este importe convenientemente. Es nuestro deseo que usted se quede el mayor tiempo posible para que podamos obtener mayor provecho de sus valiosas enseñanzas.

Usted mismo puede determinar la cantidad y el período de su visita (excepto los tres meses de verano).

En cuanto acepte la invitación de Madrid y Barcelona le ruego nos lo notifique para que reciba con la debida antelación las invitaciones oficiales y para que acordemos todos los detalles.

Finalmente, y tras algunas cartas más del propio Einstein y de Cajal, quien como presidente de la Junta para Ampliación de Estudios le escribió reiterándole oficialmente la invitación para visitar Madrid, Einstein declinó la invitación, aunque dejando la puerta abierta para más adelante. Sería en 1923 cuando semejante posibilidad se hizo realidad.

La visita de 1923

La visita de Einstein a España formó parte de una gira

que incluyó a otros países. En octubre de 1922, en efecto, partió de Alemania con destino a Japón, adonde llegó el 17 de noviembre, después de haber visitado Colombo, Singapur, Hong Kong y Shangai. El 29 de diciembre, Einstein abandonó el país nipón y viajó a Palestina, adonde llegó el 2 de febrero de 1923. Y de allí viajó a España, para llegar a Barcelona el 23 de febrero.

En 1923, la situación en lo que se refiere a la información que se disponía en España de las contribuciones a la física de Einstein era mucho mejor que la de diez o quince años antes. Una muestra de ello es el libro de Blas Cabrera (publicado por la Residencia de Estudiantes) *Principio de relatividad*, y subtitulado *Sus fundamentos experimentales y filosóficos y su evolución histórica*. Y también estaban las contribuciones de José María Plans, con su libro *Nociones fundamentales de mecánica relativista* (168 páginas), publicado en 1921.

En cuanto a la visita en sí, diré que en Barcelona permaneció del 23 al 28 de febrero. El día 24 pronunció una conferencia sobre la relatividad especial en la Sala de Sesiones del Palacio de la Diputación. Además de visitas turísticas, las hubo de otra índole. Así, el día 27 se entrevistó con Ángel Pestaña, miembro de la CNT, y participó en una cena organizada en su honor por el ingeniero industrial y militante socialista Rafael Campalans, director de Instrucción Pública del Consejo de Pedagogía.

La reunión con Pestaña, que produjo algún malentendido que el propio Einstein se apresuró a desmentir, y los intercambios con el catalanista Campalans, muestran que algunos intentaron dar a su estancia en Barcelona una cierta significación política, o al menos asociar al gran y famoso científico con las ideas políticas que sostenían personas como las que acabo de citar. Es interesante, en este sentido, reproducir el contenido de una carta que Campalans escribió a Einstein el 17 de mayo de 1923, que se encuentra en el Archivo de Jerusalén. En ella el ingeniero catalán hacía partícipe al físico de su situación en aquel momento, esto es, tras el golpe de Primo de

Rivera:

> ¡Querido maestro!
>
> Tras su partida, ¡cuántos acontecimientos han convulsionado nuestro pequeño país! Hace exactamente un año que escapé de ser asesinado, tras una persecución feroz. ¿Mi crimen? Haber osado protestar por los asesinatos policiales que todos los días *ensangrentaban las calles* de nuestra ciudad.
>
> No he osado hablarle antes de estas cosas por miedo a distraerle —incluso por un instante— de su vida superior que observo con una devoción y un respeto casi religiosos.
>
> Pero suceden cosas horribles. Toda la obra de cultura de la Mancomunidad de Cataluña ha sido demolida. Todas nuestras escuelas están cerradas. ¿La razón? La que le explico en las páginas que le adjunto.
>
> Más de 180 profesores están en la calle, como yo y la mayoría de sus amigos catalanes. Hoy es la miseria, mañana será la prisión o tal vez algo peor.
>
> No tenemos más que una esperanza: la presión que puedan ejercer sobre nuestros tiranos la solidaridad de los universitarios de países civilizados. Desgraciadamente, usted atraviesa también en su país días duros.
>
> Desde luego, conozco la grandeza de su corazón al dirigirse a nosotros, en nombre de todos los colegas golpeados. Sabemos de su generosidad y del peso de su nombre para esperar de usted nuestra salvación.
>
> Le ruego transmita mi respetuoso homenaje a la Sra. Einstein. Mi esposa se une a mí al enviarle nuestros saludos más emocionados. Hace quince días que ha traído al mundo a un niño al que pondremos de nombre Albert.

El 28, el último día que pasó en Barcelona, Einstein visitó la Escuela Industrial y el puerto, pronunciando por la tarde una conferencia sobre los problemas actuales de la relatividad en el Palacio de la Diputación. El 1 de marzo tomó el tren que le llevaría a Madrid.

En la capital de España, el día 2 Einstein visitó el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para Ampliación de Estudios que dirigía Blas Cabrera y en el que investigaban científicos como Miguel Catalán, Enrique Moles y Julio Palacios. El sábado 3 visitó el museo del Prado, fue recibido por el alcalde de la ciudad, Joaquín

Ruiz-Giménez, y pronunció una conferencia sobre la relatividad especial en la Facultad de Ciencias de la Universidad. La actividad pública principal del domingo fue la entrega por parte del rey Alfonso XIII del diploma de académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en un acto que tuvo lugar en la propia sede de la institución. Blas Cabrera, José Rodríguez Carracido, presidente de la Academia, Joaquín Salvatella, ministro de Instrucción Pública y el propio Einstein pronunciaron discursos en aquella ocasión. El lunes 5 se reunió con los miembros de la Sociedad Matemática, visitó a Santiago Ramón y Cajal y por la tarde pronunció una conferencia sobre la relatividad general en la Facultad de Ciencias. El día 7 fue recibido, en compañía de José Rodríguez Carracido, por el rey y la reina madre en el Palacio Real, fue objeto de una recepción en la embajada alemana y dictó una nueva conferencia, ésta sobre los problemas actuales de la relatividad, en la Facultad de Ciencias. El jueves 8 fue investido *doctor honoris causa* por la Universidad Central, se reunió con alumnos de ingeniería del Instituto Católico de Artes e Industrias, y pronunció una conferencia (sobre los aspectos filosóficos de sus teorías) en el Ateneo, del que fue nombrado miembro honorario. La tarde del viernes 9 disertó en la Residencia de Estudiantes, que dependía de la Junta para Ampliación de Estudios.

Fue el filósofo José Ortega y Gasset quien presentó y tradujo aquella conferencia. La elección fue apropiada, no sólo por el conocimiento que el filósofo español tenía del alemán sino también porque Ortega ya había mostrado su interés por la relatividad antes. En 1922, por ejemplo, había acogido en una colección de libros que dirigía en la editorial Calpe un magnífico texto de divulgación escrito por Max Born, *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos*, para el que compuso un prólogo en el que se lee:[102] «Las ideas de Einstein llegan a nosotros ungidas por esa recomendación estelar. Con un radicalismo intelectual tan característico del tiempo nuevo, como el deseo de no ser radical en la práctica, rompe el genial

hebreo con la forma milenaria de nuestras intuiciones cósmicas. Nada podía garantizarnos mejor que entramos en una nueva época. Muy pronto una generación aprenderá desde la escuela que el mundo tiene cuatro dimensiones, que el espacio es curvilíneo y el orbe, finito».

Sin embargo, según el propio Ortega su conocimiento de la obra de Einstein era anterior. Así, a menos, lo indicó en un artículo titulado «Con Einstein en Toledo», que publicó en *La Nación*, de Argentina, el 15 de abril de 1923, esto es, poco después del viaje de Einstein a España. «En 1916», señalaba allí, «pronuncié algunas conferencias en la Facultad de Letras de Buenos Aires. Me había propuesto en ellas dibujar someramente la fisonomía de un nuevo espíritu que sobre Europa alborea. Ante todo me interesaba fijar los caracteres de la nueva manera de pensar que desde el friso secular actúa en las ciencias y las va renovando radicalmente. Con alguna reiteración aludí a la teoría de la relatividad de Einstein, ejemplo admirable del nuevo sesgo intelectual. Era entonces muy poco conocida, en rigor se hallaba todavía en período de desarrollo. Aquel mismo año 1916 publicó Einstein la exposición de su sistema generalizado. Al concluir mis conferencias decía yo al auditorio: "No tengo prisa alguna de que me deis la razón. Sólo pido que cuando en tiempo nada lejano algunas de las cosas que habéis oído por vez primera en estas conferencias resuenen por todo el mundo y celebren su consagración pública, recordéis que en esta aula y en esta fecha oísteis ya hablar de ellas".»[103]

Aquel mismo año de 1923, Ortega publicó un libro, *El tema de nuestro tiempo*, que muestra también lo interesado que estaba en la física einsteiniana, y a través de ella en la ciencia en general, como revela el que escribiese allí: «Nuestra generación, si no quiere quedar a espaldas de su propio destino, tiene que orientarse en los caracteres generales de la ciencia que hoy se hace, en vez de fijarse en la política del presente, que es toda ella anacrónica y mera resonancia de una sensibilidad fenecida. De lo que hoy se empieza a pensar depende lo que mañana se vivirá en las

plazuelas».[104]

Retornando a la estancia de Einstein en Madrid, tenemos que el día 10 visitó de nuevo el Prado, al que volvió el domingo 11, el mismo día que tomó el tren con destino a Zaragoza, donde permaneció hasta el miércoles 14, repitiendo la rutina de conferencias, visitas y participación en homenajes que se le dedicaban.

En vista de lo dicho, ¿qué se puede decir del viaje que Einstein realizó a España en 1923? En mi opinión, constituyó una ocasión festiva, en la que se celebró y honró al genio de la ciencia contemporánea. La ciencia hispana poco, si es que algo, ganó con ello, aunque los periódicos se extendieron en sus tratamientos de las actividades de Einstein en España. El público se interesó, es cierto, por lo que podían querer decir las contribuciones einsteinianas a la física, que para ellos significaba simplemente «la relatividad». Consecuencia de ello fue que se favoreció la publicación de libros de divulgación de esas teorías (habitualmente traducciones de otros idiomas), pero ahí quedó prácticamente todo. Einstein regresó a su patria y todo parecía indicar que así habría terminado la relación de Einstein con España. Quedaba, no obstante, un nuevo y último episodio.

Madrid, abril de 1933: la oferta de una cátedra extraordinaria[105]

Como hemos visto, tras el acceso de Hitler al poder en enero de 1933, Einstein rompió los lazos que le unían con su país natal. Nunca regresó a Alemania, aunque sí, durante unos meses, a Europa, a Le Coq-sur-Mer, en Bélgica, bajo la protección de los reyes belgas.

Es en esta coyuntura cuando, el 10 de abril de 1933, el gobierno español hacía pública —a través del ministro de Instrucción Pública, el socialista Fernando de los Ríos— la noticia de que Albert Einstein había aceptado el ofrecimiento de incorporarse como catedrático extraordinario de un instituto de investigación a la

Universidad Central de Madrid.

Naturalmente, ante un suceso como éste la primera pregunta que uno se hace es la de a quién se le ocurrió semejante idea y cómo se desarrollaron las correspondientes negociaciones. Respecto al primer punto, quién fue el promotor de la idea, hay que decir que teniendo en cuenta la documentación disponible no es posible dar una respuesta terminante. Sí se puede decir, sin embargo, que el defensor más persistente y entusiasta de la idea fue el novelista y ensayista Ramón Pérez de Ayala (1880-1962), quien como embajador español en Gran Bretaña representó al gobierno español en las negociaciones con Einstein.106 La responsabilidad y crédito que adjudicar a Fernando de los Ríos (1879-1949), entonces ministro de Instrucción Pública, es algo que los documentos existentes no permiten evaluar más allá de sus intervenciones públicas al hacer el anuncio oficial. Parece, no obstante, que su participación fue muy limitada. Es de destacar por último la colaboración de Abraham Shalom Yahuda (1877-1951), al que Einstein eligió como su representante ante el gobierno español.

Yahuda, cuya relación con España es poco conocida, fue, ciertamente, una persona muy interesante, como demuestra su biografía.107 Nació en Jerusalén en el seno de una familia procedente de Bagdad. Su relación con la escritura fue temprana, ya que con quince años ya colaboraba en dos periódicos judíos, *Ha-Melitz* y *Lucha Eretz Israel*, sobre asuntos bíblicos y filológicos. Su primer libro apareció en 1895: *Kadmoniyot Ha-aravim* (*Antigüedades de los árabes*), en el que estudiaba la historia de las tribus árabes en el período preislámico. Estudió lenguas semíticas en Heidelberg y Estrasburgo, impartiendo entre 1904 y 1913 clases en el Berlin Hochschule (Lehranstalt) fuer die Wissenschaft des Judentums, y desde 1915 a 1922 en la Universidad de Madrid como catedrático de Hebreo.108 Durante sus años en España se esforzó para que se consolidase la comunidad judía de Sevilla, trabajando asimismo con denuedo para la creación de las comunidades

de Madrid y Barcelona.

Yahuda fue un personaje muy activo en círculos sionistas y con importantes relaciones. En los años de la Primera Guerra Mundial intentó persuadir a Alfonso XIII para que éste utilizara su influencia con los emperadores de Alemania y Austria en favor de los judíos de Palestina, una iniciativa que no gustó a Chaim Weizmann. Aquel primer enfrentamiento entre ambos continuó en otras ocasiones, como en el caso de la creación de la Universidad Hebrea de Jerusalén, sobre la que Yahuda llegó a escribir (11 de mayo de 1923):[109] «La Universidad de Jerusalén no es más que un *bluff* para recoger más dinero para los viajes de propaganda y para mantener los empleados y partidarios fieles a la causa común». En 1942, tras cerca de veinte años de viajes e investigaciones, Yahuda se convirtió en catedrático en la New School for Social Research de Nueva York.

La oferta de una cátedra

Pasando ahora a la oferta de la cátedra a Einstein, hay, en primer lugar, que señalar que desde cierto punto de vista no tiene nada de sorprendente. No sólo era el gran genio de la física mundial, sino que continuaba fresco el recuerdo de sus visitas a Barcelona, Madrid y Zaragoza en febrero y marzo de 1923, que causaron sensación. Ahora bien, desde una perspectiva burocrática hay que reconocer que en España no era una práctica normal la de ofrecer cátedras a científicos naturales de otros países. Sin embargo, la Segunda República española introdujo algunas novedades. Así, la posibilidad de contratación de profesorado extranjero fue algo que, de hecho, se mantuvo en las autonomías que, en materia educativa, se aprobaron entonces. Así, tenemos que se incorporaron algunos profesores extranjeros al claustro de la Facultad de Filosofía y Letras de Barcelona como consecuencia de la autonomía de que disfrutaba, junto a la correspondiente de Madrid, desde el 15 de septiembre de 1931. Asimismo, en el

Estatuto de la Universidad Autónoma de Barcelona, aprobado el 8 de septiembre de 1933, se puede leer que serán catedráticos numerarios, entre otros, «aquellas personas de mérito singular que nombre el Patronato en uso de las atribuciones que le asigna este Estatuto». No se establecía ninguna condición de nacionalidad para estos profesores. Además, siempre quedaba el recurso al «decreto extraordinario», al que posiblemente se acogió el ministro de los Ríos.

La documentación relativa a la oferta a Einstein de una cátedra extraordinaria en Madrid comienza con una carta de Pérez de Ayala a Yahuda, fechada en Londres el 5 de abril de 1933.110 En esta carta Ayala era muy preciso respecto a las intenciones del gobierno:

> Mi ilustre, admirado y querido amigo:
>
> Como le comuniqué ya por teléfono, el gobierno español, en Consejo de Ministros celebrado ayer, acordó nombrar al insigne Einstein Profesor extraordinario de la Universidad Central, en Madrid. El Estado le pagará los gastos de viaje y le ofrece el sueldo máximo de Catedrático, que es de 18.000 a 20.000 pesetas. Me permito indicar a V. que esta remuneración, dado el coste de la vida en España, equivale a más de 2.000 libras en Inglaterra; y no creo exagerar. En todo caso, estoy seguro que, si, una vez en España el señor Einstein, resultase insuficiente aquella atribución, el Estado español acudiría a poner remedio. En cuanto a las obligaciones que con su aceptación contraería el Señor Einstein, se le deja por entero a su libre arbitrio para que haga según le plazca aquello que coincida con su conveniencia y comodidad. Se me ha ocurrido —y el Ministro de Educación parece aprobarlo— que se podría fundar una especie de Seminario de Estudios Superiores de Física y Matemática, bajo la orientación magisterio [sic] del señor Einstein. Como V. sabe, en España hay un físico y un matemático realmente notables: los señores Cabre[ra] y Rey Pastor, respectivamente. En rigor de lo que se trata es de que España aspira a la honra máxima de honrar públicamente a tan eximio sabio, y al honor equivalente de tenerle de huésped dilecto (temporal o definitivamente, como él prefiera). No me atrevo a imaginar que nos prive de este doble honor. Confío además que V., mi ilustre amigo, tan español y tan persuasivo, incline hacia la afirmativa su voluntad, si estuviese vacilante. La oportunidad ahora es

magnífica. Es la mejor época del año en España. Nuestra patria, en estos meses hasta julio, es un verdadero *gan* [palabra hebrea que significa «jardín»]. El señor Einstein podría siquiera aprovechar estos meses, saliendo enseguida para España, a fin de permanecer hasta fin de curso, y allí, sobre el terreno, tomar una determinación para el futuro.

Le agradeceré que telefonee V. inmediatamente desde Bélgica lo que haya, pues el viernes por la mañana me hablarán de Madrid con ese mismo objeto.

En cuanto a lo de Salamanca, mi opinión es que lo más grato y efectivo sería que la Universidad nombrase a Einstein «Honoris Causa».

Oficialmente, sin embargo, se mantenía un estricto silencio. No hubo ninguna referencia a este asunto en el comunicado oficial del Consejo de Ministros celebrado el día 6. No obstante, los rumores no tardarían en circular. El 8 de abril aparecía el siguiente titular en *El Sol*: «¿El Profesor Einstein a España?». La noticia incluía un despacho desde Londres en el que se indicaba que «han circulado hoy con insistencia rumores acerca de la posibilidad de que el profesor Albert Einstein fije próximamente su residencia en España. Se dice que el gran matemático y autor de la teoría de la relatividad está inclinado a aceptar la oferta que se le ha dirigido por un centro oficial español en el sentido indicado. La noticia está siendo muy comentada aquí [Londres], donde el hecho se registra como un indicio más de la atención que se presta en España a todos los movimientos culturales y científicos de relieve destacado». Para *El Sol*, dado el renombre y autoridad de Einstein, «su aceptación de una cátedra en una Universidad española equivaldría a convertirla automáticamente en un vivero de investigaciones científicas de renombre internacional». En términos muy parecidos se expresaba el mismo día el *Heraldo de Madrid* y al día siguiente *El Liberal*. Según el *New York Times* (8 de abril), Einstein estaba estudiando la oferta en la Villa Savoyarde, junto a su asistente el Dr. Walther Mayer.

El 10 de abril Einstein aceptaba la oferta en un telegrama dirigido al ministro de Instrucción Pública,

Fernando de los Ríos. La noticia era hecha pública el mismo día por el propio de los Ríos. Así daba la noticia *El Sol* el día siguiente, martes 11 de abril:

> El Ministro de Instrucción Pública recibió ayer a los periodistas, y les manifestó lo siguiente:
>
> Tengo una noticia muy importante que comunicarles a ustedes. Hoy he recibido un «radio» urgente del profesor Einstein aceptando las proposiciones que le habían sido hechas de incorporarse a la Universidad de Madrid, donde continuará su labor de investigación en los diferentes seminarios e instituciones de ciencias físicas. Con él colaborará el grupo de profesores españoles de esta especialidad para dar a las ciencias españolas un mayor impulso. Los mismos profesores de hoy, repito, serán invitados a trabajar temporadas con él. Para las ciencias españolas esto tiene una gran importancia, así como para la Universidad española por tratarse de una personalidad tan destacada en las investigaciones científicas.
>
> Para mí personalmente es de una gran satisfacción haber conseguido esto, y he de hacer notar que el único propósito es enriquecer con una figura tan relevante en las ciencias del mundo como ésta el cuadro de profesores de nuestra Universidad.

El mismo día 11 se reunía el Consejo de Ministros en el Ministerio de la Guerra. El «asunto Einstein» fue obviamente tema importante de aquella reunión. En la nota oficiosa facilitada a la prensa se destacaba (*El Sol*, 12 de abril de 1933) el «alto honor [que] para España» representa la incorporación del ilustre profesor alemán, «teniendo en cuenta que eran más de cuarenta las Universidades mundiales que ha bían hecho cerca del sabio profesor las gestiones necesarias para incorporarle a aquellos centros culturales». Asimismo se reconocía el «exquisito tacto» con el que Pérez de Ayala había llevado la gestión, para terminar señalando que «Einstein no vendrá inmediatamente a incorporarse a nuestra Universidad, porque tiene compromisos contraídos para cursillos y conferencias con tres Universidades inglesas y con la de Bruselas. Vendrá a comenzar sus ta reas en la Universidad de Madrid el año próximo, y para la fecha en que dé

comienzo a sus trabajos se le formaría un cuadro de profesores especializados en las disciplinas que han de completar la labor investigadora del ilustre catedrático».

En la nota anterior se pueden apreciar varios aspectos de gran interés: de los Ríos parece dar a entender, aún sin referirse a ello explícitamente, que Einstein se instalaría definitivamente en España, aunque en la carta de Pérez de Ayala a Yahuda ése era un tema todavía por decidir. En segundo lugar, el gobierno parecía aceptar plenamente la idea de Pérez de Ayala de fundar una especie de instituto con un cuadro de profesores propio que colaborarían con Einstein. Por último conviene destacar el orgullo que mostraba el ministro de Instrucción Pública por haber conseguido los servicios de Einstein frente a tan amplia competencia internacional. Como veremos, esta suposición sería cuestionada inmediatamente.

Un primer toque de atención relativo a la «exclusividad de Einstein» apareció en el *New York Times* del día 11 de abril. Inmediatamente después de dar la noticia de la información facilitada por Fernando de los Ríos, el *New York Times* señalaba que se esperaba a Einstein en América para el otoño, ya que «el 1 de octubre debía comenzar su servicio como miembro de la facultad en la Escuela de Matemáticas del nuevo Institute for Advanced Study». Para clarificar la situación el propio Einstein escribió una carta al *New York Times*:111

> Coq-sur-Mer, 11 de abril:
>
> El hecho de que haya aceptado una cátedra en la Universidad de Madrid no me impedirá desarrollar mis conferencias programadas en Princeton, Oxford y Bruselas. Las fechas no coincidirán.
>
> Mi mujer y yo estamos viviendo ahora en una pequeña villa aquí, y estoy trabajando con mi asistente, Mayer. Todo lo que pido es un poco de paz y tranquilidad.

La situación se hizo todavía más confusa el 14 de abril, día en que la prensa española daba la noticia de que «la Cámara [francesa] ha adoptado por unanimidad el proyecto

del gobierno creando en el Colegio de Francia una cátedra de Física matemática para que la desempeñe el profesor Einstein».112 El 18 se notificaba que Einstein también había aceptado esta oferta.

En realidad el propio Einstein expresó de manera bastante clara su punto de vista en relación con la oferta española en una carta que escribió a Pérez de Ayala desde la Villa Savoyarde en Le Coq-sur-Mer el 12 de abril. La carta dice así:

> Querido Sr. Ayala:
>
> La invitación del gobierno español, que me fue transmitida inicialmente, a petición suya, por el Prof. Yahuda, y que ulteriormente Vd. me presentó personalmente, me proporciona un gran placer, ya que me da una magnífica ocasión para participar en la actividad científica de su país.
>
> Desgraciadamente, la mayor parte de mi tiempo durante este año ya está ocupado con compromisos previos. Del 1 de octubre al 1 de abril estaré en el nuevo instituto de investigación de Princeton; además, pasaré un mes (mayo o junio) en el Christ Church College de Oxford. He aceptado, también, dar una serie de conferencias en el seminario de la Universidad de Bruselas que durarán de abril a mayo. Por consiguiente, no podré visitar España hasta el año que viene, y entonces solamente durante cuatro a seis semanas en abril y mayo. Estrictas limitaciones de tiempo me impedirán participar en la actividad científica de su país en la medida que Vd. había previsto en la muy generosa oferta que me hizo. Siendo así, no será necesaria la cuantiosa remuneración que propuso en su carta del 5 de abril de 1933 al profesor Yahuda; sin duda que bastará con la mitad de aquella cantidad para sufragar mi viaje y estancia en España. Con su permiso, me gustaría expresarle las siguientes peticiones:
>
> – la designación para la Universidad en España, según nuestro acuerdo, de un destacado investigador alemán (matemático o físico) a ser nombrado por mí;
> – con respecto a mis necesidades personales, quisiera una pequeña casa situada a unos pocos kilómetros de Madrid donde pudiese vivir y trabajar en paz y tranquilidad;
> – además, si necesitase la asistencia de una secretaria durante mi estancia en España, quisiera tener el derecho de hacer mi propia elección.
>
> Tal y como yo lo veo, mi actividad en España consistiría únicamente en trabajar con estudiantes y profesores que

tuviesen una preparación matemática previa, esto es, que hubiesen estudiado matemáticas superiores. Una vez que esté allí, podré juzgar mejor si es recomendable organizar conferencias o seminarios.

Para concluir, permítame pedirle que transmita mis agradecimientos más calurosos a su gobierno por el honor que me otorgan, especialmente mi gratitud al ministro Señor de los Ríos por las amables palabras y la manera elocuente en que habló de mí.

Quisiera expresarle también mi gratitud a Vd., mi querido Sr. Ayala, y asegurarle que constituyó un sincero placer tanto para mi esposa como para mí verle en nuestra casa y conocer a una persona tan magnífica como Vd.

Espero y deseo que mi trabajo, aunque restringido por el tiempo, será beneficioso para su bello país.

Con mis mejores deseos para Vd. y para su esposa, se despide...

En esta carta se ve que Einstein pensó desde un primer momento en la creación de un puesto para un profesor que él designaría y que aparentemente jugaría el papel de su «representante permanente en Madrid». No parece haber dudas de que este punto fue tratado durante la visita que Pérez de Ayala hizo a Einstein en Le Coq-sur-Mer. Es interesante también señalar que Einstein pensó en desempeñar un papel pedagógico activo en la formación de investigadores españoles. Es decir, su instituto no iba a ser sólo de investigación. Evidentemente, éste es un punto que habría afectado muy directamente a la física española.

Llegados a este punto, es difícil evitar preguntarse el por qué Einstein aceptó la oferta española, cuando si algo era evidente es que lo que no le iban a faltar era precisamente ofertas. Podría pensarse en una primera instancia que Einstein quedó tan gratamente impresionado durante su visita a España en 1923, y que su opinión acerca de algunos científicos españoles era tan elevada que decidió elegir España para fijar en ella su «residencia en el exilio». Sin embargo, esto es muy difícil de sustentar. Los motivos reales —o al menos una parte importante de ellos— de Einstein aparecen claramente en una carta que éste escribió a su amigo el físico francés Paul Langevin, el 5 de mayo de

1933.[113] Se lee allí lo siguiente:

> Me encuentro ahora en una situación embarazosa, exactamente opuesta a la de mis compatriotas que han sido expulsados de Alemania. En efecto, he aceptado una posición para todo el invierno (de 5 a 6 meses) en el instituto de investigaciones de Abraham Flexner en Princeton. También he sido invitado por un período de cinco años, un mes cada año, a Oxford, al Christ Church College. Además, España me ha ofrecido un puesto de enseñanza (como catedrático) en la Universidad de Madrid, y he prometido ir allí en abril próximo [1934]. Me había comprometido antes de recibir la proposición francesa...
>
> Puede Vd. pensar que debería haber sido mi deber no aceptar las ofertas española y francesa, ya que mis capacidades actuales en modo alguno se encuentran en proporción con lo que se espera de mí. Sin embargo, bajo las actuales circunstancias, tal rechazo podría haber sido mal interpretado ya que ambas invitaciones eran, al menos en parte, demostraciones políticas que consideré importantes y que no quise echar a perder.

En esta carta a Langevin nos encontramos con la, posiblemente, principal razón detrás de la actitud de Einstein ante la oferta española: quería de esta manera apoyar de una forma explícita a la Segunda República.

Un mes más tarde (el 4 de junio) Einstein —ya en Inglaterra— volvía a escribir a Langevin indicándole que le parecía que había tomado demasiadas obligaciones: «La desgracia es, en efecto, que tengo obligaciones en demasiados lugares y que no estoy a la altura de éstos: Princeton, Madrid, París, Oxford... Cuando haya hecho esto durante un año estaré muerto». Más adelante aparece un párrafo en el que se pueden ver algunos indicios de un posible rechazo de Einstein de la oferta española: «Me parece ahora que la situación en España es muy inestable. Se puede pensar que de aquí al año que viene se comprobará que ya no se asigna ningún valor a mi ida a España. La oferta de España me llegó justo la víspera que la de Francia. ¿No es una fatalidad?».

Mientras Einstein estuvo en Inglaterra en septiembre se entrevistó con Pérez de Ayala. La cátedra en España todavía

estaba en vigor como lo atestigua la carta que el 14 de octubre Einstein escribía al escritor y embajador a bordo del *Westernland* camino de Estados Unidos, de donde, a la postre, nunca volvería a salir. En su carta, Einstein recomendaba vigorosamente al matemático Walter Meyer, con quien colaboraba entonces:

> He pensado mucho, por supuesto, acerca de la cuestión de proponer un profesor y he llegado, me alegra decirlo, a un resultado positivo que estoy seguro será beneficioso para todas las partes. Propongo a mi actual colega, Profesor Dr. Walther Mayer de Viena. En casi cuatro años de trabajo intensivo con él, he llegado a conocerle como el más talentoso y dedicado matemático entre aquellos con los que he tenido la buena fortuna de trabajar. [Antes de colaborar conmigo] escribió trabajos básicos en diversas áreas de matemática pura, especialmente geometría infinitesimal, topología y cálculo de variaciones —trabajos que han recibido un reconocimiento creciente por los expertos.
>
> Creo que dando el puesto al Sr. Mayer podemos alcanzar dos metas al mismo tiempo. En primer lugar, puede trabajar conmigo en mis propias áreas de investigación y, en segundo lugar, dar clases en aquellos temas de matemática pura en que Vd. y sus colegas de la Universidad de Madrid crean que existe interés y necesidad.
>
> El Profesor Mayer es austríaco y tiene cuarenta y seis años. Habla francés bien y pronto sabrá suficiente español para poder dar conferencias en ese idioma. En los últimos años se ha convertido no sólo en mi colega sino también en un amigo y estoy seguro que encajará muy bien con sus otros colegas en la universidad, para la satisfacción de todos los involucrados.
>
> Pienso que sería una buena idea el que Vd. enviase mi propuesta de manera que tal vez el Profesor Mayer pueda comenzar su trabajo incluso antes de mi llegada a Madrid con lo que mi actividad allí comenzaría de manera efectiva.

Los cumplidos que Einstein dedicaba a Mayer no eran exagerados. Desde 1930, año en que publicaron su primer trabajo conjunto, hasta *La correspondencia Einstein-Yahuda*

Junto a las cartas que Einstein y Yahuda intercambiaron bien con el gobierno español o con Pérez de

Ayala, están las que ambos se escribieron. Algunas de ellas ofrecen información esencial para comprender lo que sucedió con la cátedra en Madrid que finalmente nunca se hizo realidad.

La primera carta de que disponemos es la que Yahuda escribió a Einstein desde Londres el 30 de marzo de 1933. En ella se aprecia claramente el interés que Yahuda tenía por el movimiento sefardita, interés que se extendía al movimiento sionista y que —especialmente en este último caso— se vio favorecido por la oferta del gobierno español. «En pocos días», escribía Yahuda, «estaré de camino hacia España. Algunos viejos amigos míos, que ahora ejercen posiciones influyentes, desean mi presencia para así poder discutir conmigo sus opiniones sobre el movimiento sefardita que pretende facilitar la vuelta de los judíos españoles a España.» Y concluía haciendo referencia a que «cuando Vd. llegó a España [se refiere sin duda a la visita de Einstein en 1923] yo acababa de dimitir de mi cátedra en la Universidad de Madrid. Me tomo la libertad de enviarle algunos recortes de periódicos para que pueda conocer mi trabajo y escritos».

Como es bien sabido, en el verano de 1933 la situación política española se hizo casi insostenible (pronto comenzaría el «bienio negro»). El retraimiento y la desconfianza de los elementos patronales, la restricción de créditos por los bancos, la baja de los mercados agrícolas y la crisis económica mundial (por no recordar las consecuencias en todo el mundo del acceso de Hitler al poder a primeros de año) hacían enormemente difícil la situación para los gobiernos del centro-izquierda, gobiernos que por otra parte eran cada vez más duramente atacados por la oposición, especialmente por la Confederación Española de Derechas Autónomas, la CEDA, cuya filosofía entonces era la de agotar todos los caminos legales para comprobar la imposibilidad del régimen republicano. Fue inevitable terminar convocando elecciones generales, que tuvieron lugar el 19 de noviembre con el resultado conocido de que la CEDA pasaba a ser el primer grupo

parlamentario.

Toda esta situación política no podía pasar desapercibida ni a Yahuda ni a Einstein, cuyo fervor democrático no llegaba al grado de hacerle desear verse involucrado directamente en los asuntos españoles. La correspondencia conservada en los archivos Einstein da prueba de cómo afectaron todos estos sucesos a la cátedra madrileña. Así, en una carta de Yahuda a la señora Einstein, Elsa, fechada el 8 de noviembre, aquél escribía: «Debido a la situación política, el asunto español se ha desvanecido completamente por el momento; desde el principio Ayala se encontraba extremadamente indignado por el poco fervor con el que se sigue este tema y por consiguiente ya no sigue con él».

No hay duda de que en realidad estas noticias satisfacían a Einstein, que se apresuraba a contestar a Yahuda el 22 de noviembre: «Sus noticias referentes a Madrid y Oxford me hacen muy feliz... Se me quitaría de encima un gran peso si de alguna manera Ayala me librara de la promesa que le hice... Qué feliz me haría si pudiese escribir pronto a Francia, diciendo que iría allí directamente desde aquí y que pasaría en Francia el semestre de verano (sin España e Inglaterra)».

El 17 de enero de 1934, Yahuda escribía a Ayala. Tras mencionar que Einstein lamentaba tener que permanecer en América más tiempo del previsto, lo que le impediría regresar a Europa antes de finales de abril, cuando había aceptado pasar algún tiempo en Madrid entre principios de marzo y finales de abril, Yahuda señalaba que Einstein «está algo desconcertado porque no ha oído una palabra del gobierno español con respecto a conseguir un profesor que sería contratado bajo su recomendación, tal y como había sido estipulado; y encuentra difícil de prever cómo puede llevar a cabo una actividad efectiva sin ninguna preparación previa antes de su llegada. Él le habría escrito a Vd. directamente, pero se siente tan obligado a Vd. que es más que reluctante a causarle el menor embarazo. Por consiguiente, me pidió hace unas pocas semanas que

contactase con Vd. para tratar este delicado asunto y si no he dudado en satisfacer su deseo es porque me siento reconfortado por el profundo afecto que le tiene, así como por la gran admiración y afecto que Vd. tiene por él».

A continuación Yahuda pasaba a tocar lo que en aquel momento era tema casi prioritario: la situación política: «No creo que, tal y como están las cosas ahora en España, la visita de Einstein a España esta primavera tuviese la misma influencia que se pensó tendría la primavera pasada. No sé incluso si el gobierno actual tiene el mismo profundo interés en el asunto que el gobierno de Azaña y de los Ríos.[114] Le ruego, por consiguiente, que haga todos los arreglos posibles para posponer el asunto por el momento de manera que Einstein no se sienta perseguido y acosado después de un agotador y muy ocupado cuatrimestre [*term*] en Princeton».

Tras continuar diciendo que la salud de Einstein había sido muy mala, Yahuda indicaba a Ayala que: «Entre nosotros debo decirle que no fue correcto por parte de nuestro amigo de los Ríos el que no intentase nunca ponerse en contacto con Einstein para establecer con él un acuerdo definitivo sobre la cátedra y el nombramiento de otro profesor que le ayudase. Siempre he creído que a veces Einstein no estaba muy seguro de la actitud del gobierno, y fue únicamente porque él sabía que Vd. estaba muy interesado y era serio con respecto a este asunto, que se contuvo de discutirlo». Y concluía indicando que «le quedaría muy agradecido si me hiciese saber lo más pronto posible el resultado de sus averiguaciones, de forma que yo pueda telegrafiar a Einstein su respuesta».

Los intentos de Yahuda por obtener una respuesta de —o incluso contactar con— Pérez de Ayala aparentemente no dieron ningún resultado. Sin embargo, súbitamente las quejas de Pérez de Ayala y Yahuda relativas a la situación estacionaria en que se encontraba el planeado instituto de investigación surtieron efecto. La primera prueba en este sentido la tenemos por un telegrama que Yahuda envió a Einstein el 14 de abril: «El gobierno español aprobó un

presupuesto de 27.000 pesetas para su cátedra,[115] incluyendo un profesor asistente. Puede venir Vd. cuando le venga bien, pero debe nombrar un ayudante. Telegrafíe cuando venga a Europa».

Una semana más tarde (21 de abril, 1934) Yahuda enviaba a Einstein una larga carta en la que le explicaba con todo detalle el giro que habían tomado los acontecimientos:

> Querido profesor:
>
> Debo decir que me sorprende bastante no haber sabido nada de Vd. desde hace algunos meses. Todavía más sorprendente es el hecho de que ni siquiera haya contestado a las dos últimas cartas que le envié a Vd. y a su esposa. Me pregunto si, de hecho, merezco tal tratamiento. Permítame, sin embargo, no decir nada más sobre este tema ahora que debo escribirle acerca de España.
>
> Como le mencioné en mi anterior carta, a pesar de mis repetidas averiguaciones y telegramas, durante meses esperé en vano alguna palabra de Ayala. Cuando finalmente éste regresó hace cinco semanas, no tuve la oportunidad de hablar con él acerca de mis repetidas llamadas y notas. De hecho, incluso retrasé por algunos días mi salida para el balneario de Bath con la esperanza de poder verle y saber qué es lo que había conseguido en el asunto concerniente a Vd. Sin embargo, todos los intentos fracasaron. Todo esto me desconcertó enormemente y ya no sabía qué esperar de Ayala y de su actitud hacia mí. Incluso comencé a pensar que estaba furioso conmigo, creyendo acaso que era yo, y no Vd., el que deseaba cancelar el acuerdo.
>
> Me sorprendió bastante cuando, al volver hace unos días, vi aparecer en mi casa poco antes de medianoche al chófer de Ayala con una carta de siete páginas en la que jubilosamente me informaba de la «buena» noticia de que la creación de su cátedra ¡se había arreglado definitivamente! Describía con vivas imágenes los *sinsabores* por los que había tenido que pasar durante los últimos meses, ya que se sentía avergonzado en lo relativo a hablar conmigo y que había estado esperando el momento en que pudiese informarme del éxito de sus esfuerzos.
>
> Me pidió, de una manera urgente aunque amable, que le visitara. Ya se puede imaginar Vd. mi sorpresa al saber todo esto, especialmente después de que yo le había expresado claramente a él que Vd. había decidido renunciar al acuerdo, o al menos le gustaría retrasarlo hasta que los asuntos

relacionados con la cátedra que le fue ofrecida estuviesen completamente solucionados, ¡[y eso] aún en el caso de que [a la postre] Vd. decidiese no ir! Por ese motivo, [Ayala] no escatimó esfuerzo alguno para sacar adelante el asunto y dijo que estaba contento de haber tenido éxito, *a pesar de tremendas dificultades*. Yo, por supuesto, le dije que el asunto había experimentado un giro completamente diferente, ya que Vd. no deseaba regresar a Europa. Me pidió que le enviase a Vd. un cable, lo que hice aquella misma tarde.

En mi última carta a Vd. [escrita a] mediados de marzo, le sugería que debería [haber] escrito a España. Si lo hubiese hecho inmediatamente después de recibir mi carta, todo el asunto podía haber sido abandonado. Sin embargo, a estas alturas no tiene ningún sentido ahondar en tales consideraciones. Teniendo en cuenta el hecho de que el asunto ya ha sido solucionado, se debería sentir Vd. feliz porque tendrá ahora la oportunidad de asegurar una hermosa cátedra para un investigador que se la merezca; los arreglos son tales que el dinero debe ser utilizado por Vd. y por un profesor que Vd. designe, con la concesión expresa de que no está Vd. atado a ningún período fijo. Dadas las actuales condiciones en España, 27.000 pts. son equivalentes a alrededor de 10.000 dólares de los EE.UU. Si Vd. reserva 20.000 pts. como estipendio para su ayudante, esto constituirá un magnífico salario. Ahora debe meditar cuidadosamente su elección de ayudante; por una parte debe tener las credenciales suficientes para que los españoles le reconozcan sin reservas como una autoridad, mientras que por otra, debe poseer la habilidad [requerida] para desarrollar su teoría. Como el profesor Mayer ya tiene un contrato firme, la oportunidad puede beneficiar a un investigador judío [que venga] de Alemania.

Con relación a Vd., no es la intención de este telegrama decirle que la gente está esperando que Vd. vaya ahora a España. Teniendo en cuenta que Vd. ha decidido renunciar a su viaje a Europa en este momento, puede ocurrir que decida ir ahí la primavera próxima. Sin embargo, debería elegir su candidato ahora de manera que él pueda comenzar con sus obligaciones a primeros de octubre, ya que el semestre de verano acaba en 5 ó 6 semanas. Éste es ahora el asunto más importante, y si Vd. consiguiese asegurar [el porvenir] de un investigador judío-alemán *muy importante*, todo el asunto habría merecido la pena. Después de todo, esto representa un tremendo logro para su teoría.

Debería quedarle claro, por todo esto, que no he escatimado

esfuerzo alguno para realizar sus deseos; Ayala, sin embargo, no sabrá nada de ello. Tal vez en el análisis final, hayamos conseguido algo bueno.

En este punto Yahuda abandonaba el tema de la cátedra madrileña, para pasar a discutir temas relativos a la Universidad Hebrea de Jerusalén que tanto interesaban a él y a Einstein.

Es importante señalar que en esta carta se ve claramente que para Yahuda la oferta española tenía como uno de sus principales (si no el principal) atractivos la posibilidad que ésta brindaba de conseguir un puesto para un científico judío-alemán. Este atractivo es asimismo uno de los puntos que aparece en una carta que la esposa de Einstein, Elsa, escribió desde Princeton a Yahuda el 3 de mayo de 1934. En este documento también se puede apreciar claramente el disgusto con el que Elsa Einstein acogió los últimos acontecimientos:

La cátedra española, y que quede entre Vd. y yo, es un asunto muy desagradable. Cuando estábamos en la Casa Blanca, Albert se acercó al embajador español (que había telefoneado con anterioridad, antes de que llegásemos a la Casa Blanca). Le explicó que no debía emprender ninguna acción y Albert fue de la opinión que todo el asunto se había venido abajo, y que estaba fuera de él para siempre. ¿Qué podemos hacer ahora? Ir a España y no a Francia es absurdo. Oxford también le está esperando. El generoso gesto de Albert de dar su cátedra para un profesor exiliado fue rechazado indirectamente por Lindemann. Según Lindemann la cátedra no fue creada con esa intención, sino más bien únicamente para Albert. Y Albert no puede sencillamente escoger la persona que debería recibirla.

No puedo describirle a Vd. lo que significa para mí no poder viajar a Europa en un momento en que Ilse está seriamente enferma. A veces siento que no lo puedo soportar más y que tengo que partir hacia París para ver a mis hijos. El año próximo, si estamos todavía vivos, deberemos enfrentarnos con el mismo problema. Oxford-París-Madrid. Aquí Flexner [el director del Instituto de Estudio Avanzado de Princeton] comienza a jadear cuando escucha esto. Después de todo, tiene un monopolio sobre él ya que le está pagando. No quiere compartir el «honor» con nadie más.

Albert se sienta aquí y no sabe a quién designar para España como su denominado asistente. Le gusta Laue que quiere irse de Berlín. Yo, sin embargo, encuentro que es cruel que cuando uno tiene una oportunidad de proporcionar una colocación para un profesor judío, se ofrezca el puesto a Laue que, en cualquier caso, tiene uno en Berlín. Lo encuentro una grave injusticia manifiesta.

El Instituto Einstein

Las últimas noticias recibidas de Madrid demostraban claramente que se había cubierto una primera etapa —al menos en lo que a la opinión mantenida por la parte española se refiere— en las discusiones relativas a la cátedra ofrecida a Einstein. Se entró de esta manera en una nueva fase de las negociaciones en la que se comenzaron a barajar nombres para ocupar el puesto de profesor —que, aparentemente, llevaría asociada una cátedra— en lo que sería un instituto de investigación dirigido por Einstein y adscrito a la Facultad de Ciencias de la Universidad Central. La primera carta en este sentido la escribía Einstein a Yahuda el 5 de mayo de 1934, y en ella aparece Max von Laue como el candidato preferido por Einstein:

Me encuentro en una posición muy embarazosa ahora que el asunto español se ha solucionado de manera positiva. ¿Debería visitar tanto París como Madrid en el corto espacio de un verano y además ser productivo allí? Además, la designación de un profesor que permanecería allí permanentemente no es, por buenas razones, tan fácil como algunos podrían pensar. El profesor Max von Laue es la primera persona que se me ocurre, aunque no es judío. Laue ha hecho con sus desinteresados esfuerzos para interceder en defensa de sus colegas judíos que su posición en Berlín sea insostenible. Además, ha salido en pública defensa de la teoría de la relatividad. Tiene el premio Nobel y disfruta con merecimiento de un gran respeto por parte del mundo científico. Su trabajo más importante ha sido, en parte, en el área de la teoría de la relatividad.

Dejando aparte el hecho de que las anteriores razones le harían sin duda merecedor de todo apoyo, su designación para Madrid representaría, desde un punto de vista práctico, un éxito

con respecto al gobierno nazi. Permítame también añadir, que de los colegas judíos exiliados más importantes en el campo, todos han sido colocados ya. Especialmente Born en la Universidad de Cambridge; él es el único que posee una estatura científica comparable a la de Laue.

El asunto con Laue sólo tiene un inconveniente: es inadecuado para dar cursos de conferencias. Por otra parte, ha alcanzado gran éxito durante muchos años por su ejemplar dirección del coloquio de Física de Berlín, que era probablemente el más sobresaliente del mundo. Además, tiene un gran éxito como estimulador de gente joven, y también sabe valorar la experimentación, incluso a pesar de que él sólo ha realizado trabajo teórico. Estoy convencido de que es muy apropiado para hacer avanzar el saber científico en su nueva área de empeño.

Estoy preocupado por cómo disponer este nombramiento y al mismo tiempo mantener mi propio nombre en un plano muy secundario, de otra manera todo esto haría que las cosas fueran muy difíciles para él, y sus propiedades serían confiscadas. ¿Puedo pedirle, por favor, que consulte acerca de estos asuntos con la gente apropiada? Como en este tema sólo he escuchado su parecer, no tengo, por el momento, ninguna razón para escribir a alguien más.

Como vemos por esta carta, Einstein estaba mucho menos condicionado por la «cuestión judía» que su esposa. Aunque Laue no era judío, Einstein, que sentía un extraordinario respeto por él, estaba dispuesto a designarle para el puesto de Madrid. Es interesante también la discusión que hacía Einstein en esta carta de las calificaciones pedagógicas de Laue. Ello indica que Einstein vio la cátedra como una oportunidad de lograr un impacto positivo sobre la ciencia española, y no sólo como una magnífica ocasión para colocar a algún físico con problemas. Asimismo, se observa que Einstein argumentaba principalmente a partir de los trabajos realizados en el área de la relatividad. En este sentido Madrid estaba llamada a constituirse en un centro de investigación en esta rama de la física. Afortunadamente para Einstein, Laue había hecho contribuciones en este campo; por ejemplo, y al margen de ciertas investigaciones específicas en relatividad especial, se

debe a Laue el primer libro dedicado íntegramente a esta última teoría: *Das Relativitätsprinzip* (1911).

Cuatro días después (el 9 de mayo) de haber escrito la carta que acabamos de comentar, Einstein volvió a dirigirse a Yahuda señalando que sabía «que existe la posibilidad de que Laue ocupe una cátedra en América, mientras que él tal vez prefiriese una en España debido al futuro de sus hijos», y añadiendo que Max Born, entonces en Cambridge en una situación precaria, era otra posibilidad.

El 21 de mayo, Yahuda escribía una carta a Einstein, expresando el estado en que se encontraba el asunto: «No debería sentirse molesto por el asunto de España. No debe considerarlo en absoluto con vistas a la primavera próxima, y para entonces el Instituto, que fue creado para Vd., estará preparado para ser ocupado y Vd. podrá entonces decidir si desea venir a España por unas pocas semanas bien en la primavera o en el verano. Lo principal es que todo está arreglado. Mientras tanto, Fernando de los Ríos, que era ministro de Cultura cuando Vd. recibió su puesto el año pasado, se encuentra aquí y está completamente de acuerdo con mis opiniones. Básicamente los españoles están interesados en asegurarse su nombre... Tranquilice su mente y repose en la seguridad de que todo será hecho para agradarle».

Una semana más tarde (el 28 de mayo), Yahuda dirigía una carta a la señora Einstein:

> Que el asunto español terminase como lo hizo, debe ser atribuido completamente al celo de Ayala, que usó toda su influencia para conseguir la dotación de una cátedra, ya que se dio cuenta de que el Profesor quería abandonar. Ni siquiera mi consejo sugiriendo un aplazamiento habría servido de mucho. Así es con los españoles: bien se persigue un asunto con un poderoso empuje, o se lo pospone a «un *mañana* [en castellano en el original] que nunca llega». Ahora que todo ha acabado, estoy contento de que se haya creado en España un lugar permanente para fomentar las enseñanzas de Einstein. Yo también comparto su opinión de que la cátedra debe darse a un judío. Laue sería el único [no judío] que yo podría apoyar, no sólo porque es sobresaliente, sino por su brava y digna

conducta, algo que es muy significativo dada la deplorable actitud de toda la «intelligentsia» alemana.

Casi a vuelta de correo Einstein contestaba a Yahuda (el 10 de junio) con nuevas ideas respecto a su «profesor ayudante»:

> Me he estrujado los sesos acerca de la cátedra española. Aparentemente Laue no quiere ir allí. Vacila mucho e incluso duda si abandonará Alemania.116 Se rumorea incluso que Hitler se tambalea. La situación es muy diferente con respecto a Born. Aparentemente, intenta utilizar esta oferta para establecerse en Inglaterra. Sin embargo, si no lo consigue, probablemente aceptaría la posición en España. Sería bueno que supiésemos pronto cómo están las cosas.
>
> Si no resulta lo de Born, designaría al Dr. Leopold Infeld.

Vemos, por consiguiente, que además de Laue, Max Born y Leopold Infeld surgieron inmediatamente como posibilidades. Born había tenido que abandonar Alemania y su cátedra e instituto en Gotinga, debido a su origen judío, y se había trasladado en el otoño de 1933 a Cambridge (Inglaterra) en cuya universidad aceptó una *lecturership*, puesto equivalente a una adjuntía. Más tarde, en 1936, Born aceptaba una cátedra en la Universidad de Edimburgo, donde finalizaría su carrera académica. La oferta española fue una de las muchas (París, Bruselas, Oxford, Moscú...) que recibió este extraordinario físico.

Por lo que se refiere al físico polaco Leopold Infeld, es hasta cierto punto sorprendente que Einstein le considerase como uno de sus candidatos. Es de sobra conocido que a partir de 1936 Einstein e Infeld colaboraron en diferentes trabajos relativos al problema del movimiento en relatividad general y que llegaron a escribir juntos un libro,117 pero en la época, 1934, en que fueron escritas estas cartas, Infeld era un físico muy poco conocido. Una posible razón que justificase la elección de Einstein podría haber sido una recomendación de Born, con quien Infeld se encontraba colaborando como mencionaremos más adelante.

Las dos siguientes cartas (que no reproduciré) de que se dispone fueron escritas por Yahuda a Einstein, y en ellas se observa que la parte española exigía con firmeza que el propio Einstein en persona inaugurase el nuevo Instituto de Madrid, no estando dispuesta a que ningún profesor tomara posesión antes de la celebración de dicho acto, formalidad que, aparentemente, se consideraba la confirmación de la aceptación por parte de Einstein de una cátedra en la Universidad Central. También se comprueba en estas cartas la influencia que la «actual inquietud y constantes cambios ministeriales» ejercieron en las demoras que sufrió el establecimiento del Instituto Einstein, así como que la participación de Yahuda en todo este asunto tenía como propósito fundamental el favorecer la cuestión judía en España.

El siguiente documento conservado en los Archivos Einstein es una carta de Born dirigida aparentemente a Yahuda y fechada el 17 de septiembre de 1934. En dicha carta Born se muestra muy crítico respecto a la posibilidad de que Infeld obtuviese el puesto de Madrid. Así, escribe: «Creo que la sugerencia de Einstein [proponiendo al] Dr. Infeld está totalmente fuera de lugar».

Las razones que daba Born para sustentar su opinión eran tres: en primer lugar estaba que Infeld era en aquel momento un colaborador suyo (durante el período que este físico polaco pasó en Cambridge con una beca de la Fundación Rockefeller colaboró con Born en la formulación de una electrodinámica no lineal, hoy conocida como electrodinámica de Born-Infeld). Además existían indicios que hacían pensar que Infeld tenía buenas posibilidades de conseguir una cátedra en Polonia. Por último, Born pensaba que Infeld era únicamente un principiante, no merecedor, por consiguiente, de que se le ofreciese semejante puesto.

A continuación Born pasaba a señalar los nombres de cinco físicos que en su opinión sí merecían la cátedra de Madrid. Eran éstos: Hans Bethe («un joven brillante del más alto nivel»), Rudolf Peierls, Fritz London, Walter Heitler y L. W. Nordheim (estos dos últimos antiguos ayudantes de

Born en Gotinga). «Naturalmente» añadía, «no sé si uno de estos hombres querría aceptar la oferta española. Pero creo que todos tienen que hacerlo, ya que para ellos existen pocas esperanzas de obtener un puesto permanente en Inglaterra.»

A pesar de que los recelos de Born con respecto a Infeld fuesen probablemente exagerados (como se demostraría más tarde cuando Infeld —después de haber colaborado con Einstein— organizara, como catedrático, espléndidas escuelas de física teórica tanto en Canadá como en Polonia), no hay duda de que los candidatos que sugería para ocupar la cátedra de la Universidad Central eran todos físicos extraordinarios, disponibles para cualquier universidad en aquel momento únicamente por las razones políticas. Madrid tuvo una oportunidad única, histórica, de tener un instituto dirigido por un Bethe, un Peierls o un Heitler. La oportunidad, sin embargo, pasó y Bethe terminaría como catedrático en Cornell, Peierls en Cambridge después de haberlo sido también en Birmingham, London en Durham, Heitler en Zúrich y Nordheim en la Duke University.

El 20 de noviembre Yahuda remitía a Einstein la carta de Born en la que proponía a los cinco físicos antes mencionados, añadiendo por su parte que «hasta ahora he hecho todo lo posible para evitar que los españoles le acusen a Vd. de romper su promesa. Por esta razón, ahora estoy poniendo el asunto en las manos de Ayala, ya que sospecho que él mismo se encuentra en una posición difícil con respecto a Vd».

Las sugerencias y opiniones de Born no encontraron, sin embargo, eco alguno en Einstein, como lo demuestra la carta que escribió a Yahuda el 29 de noviembre de 1934: «Con respecto a las sugerencias de Born, me gustaría hacer los siguientes comentarios: estoy dispuesto a admitir de buen grado que el investigador que él ha designado ha logrado, en cierta medida, resultados más importantes en su campo que los producidos por el Sr. Infeld en su propia área. En su momento, yo fui comisionado para nombrar un

investigador que hubiese trabajado con éxito en el área de la relatividad. Ninguno de los investigadores que Born ha sugerido satisfacen esta condición, por tanto, fui incapaz de designarlos. Todos sus trabajos han sido en el área de la teoría cuántica».

Varios son los comentarios que sugiere la lectura de esta carta. En primer lugar, y ya que Einstein utilizaba el singular al referirse al candidato de Born, hemos de suponer que entendió que éste recomendaba a Bethe, primer nombre en la lista ya mencionada con anterioridad. Si así fue, no hay duda de que, efectivamente, Bethe ya había obtenido mejores —y más numerosos— resultados que Infeld. Se pueden mencionar, por ejemplo, sus trabajos de 1928 sobre el comportamiento de los electrones en la red cristalina de un metal, o su famoso (todo un clásico de la física cuántica) artículo de 1932 para el Geiger-Scheel *Handbuch der Physik*, que en 1957 sería ampliado (en colaboración con E. E. Salpeter) y traducido al inglés bajo el título *Quantum Mechanics of One and Two Electron Atoms*. Ahora bien, Einstein señalaba, y esto es importante, que había sido «comisionado para nombrar un investigador que hubiese trabajado con éxito en el área de la relatividad», y, obviamente, ni Bethe ni los demás candidatos propuestos por Born cumplían este requisito. Aparentemente, la parte española y/o Einstein querían una «España posible» especialista en relatividad y, naturalmente, esto tenía la lógica indiscutible de que Einstein (por entonces ya bastante apartado de la teoría cuántica) iba a actuar como director del proyectado instituto. No obstante, surgen inevitablemente varios comentarios posibles ante el hecho que estamos analizando. Así, no deja de ser sorprendente hasta cierto punto que se preparase únicamente una especialización en relatividad, ya que era aquélla una época en que los trabajos de los físicos españoles en áreas de investigación afines a la teoría cuántica (el grupo de Cabrera en magnetismo, el de Catalán en espectroscopia) alcanzaban resonancia internacional. Todo lo contrario a lo que ocurría en el campo relativista, que en realidad ya no

existía. (En general, en aquellos años abundaban, internacionalmente, físicos jóvenes de alta calidad especialistas en la teoría cuántica, mientras que escaseaban los relativistas.) Se puede argumentar que, conocedores de este auge de la física cuántica en España, Einstein y/o los responsables españoles quisieron prestar especial atención al campo de investigación que más lo necesitaba, el de la física relativista. No obstante, este argumento pasa por alto el hecho de que la investigación realizada en España dentro del área de la física cuántica era eminentemente experimental. Faltaban teóricos capaces que pudieran dar sentido teórico, explotar, los resultados experimentales que se iban obteniendo. Ésta era la razón, por ejemplo, de la colaboración existente entre el grupo (teórico) de Arnold Sommerfeld en Múnich y el de Catalán en Madrid. En este sentido, no hay duda de que la presencia en la universidad madrileña de Bethe, Peierls, London, Heitler o Nordheim habría sido muy beneficiosa, aunque ello implicase una evidente desnaturalización del proyectado instituto de investigación dirigido por Einstein.

Finalmente, ninguno de los físicos mencionados vendría a España.

El último documento que se conserva en los archivos Einstein es una carta de Yahuda a Einstein, fechada el 6 de mayo de 1935, en la que aquél pasaba revista a las principales dificultades con que se había encontrado a lo largo de todo el proceso. Las palabras de Yahuda tienen el sabor agridulce del sumario final escrito por quien sabe que en realidad todo había terminado ya. «En el tema del Dr. Infeld», señalaba Yahuda, «no fui capaz de hacer nada porque Ayala y también la gente [que está] en España estaban demasiado absortos en sus asuntos políticos. También creo que será difícil para ellos tomar cualquier iniciativa antes de que Vd. tome posesión de la cátedra; y como Vd. no se encuentra dispuesto a tomar ninguna medida en favor del Dr. Infeld, nada, me temo, ayudará en este asunto.»

Nada puede reflejar mejor la opinión auténtica de

Yahuda como el que éste continuase su carta sugiriendo a Einstein que tal vez él pudiese encontrar un trabajo para Infeld en Estados Unidos.

Se cerraba un capítulo que nunca llegó a escribirse de la España posible de la Segunda República.

La oferta a Einstein y la cuestión judía en la prensa española

Como colofón quiero discutir brevemente la reacción inmediata de una parte —muy representativa— de la prensa española al anuncio del gobierno español de que Einstein había aceptado una cátedra en la Universidad de Madrid. Al fin y al cabo, la prensa es un elemento fundamental en todo aquello que tiene que ver con «el poder». Tal reacción ilustra que las condiciones de «discurso civil» vigente en la ciencia española desde alrededor de 1900, que había permitido el desarrollo de las ideas científicas en una atmósfera bastante libre de las cargas ideológicas, estaba en trance de desintegrarse. Recordemos que entre los relativistas que promovieron la favorable acogida del ideario de Einstein en España figuraron hombres católicos y pertenecientes a la derecha política: Plans, Terradas y el sacerdote Enrique de Rafael. Estos hombres se mantuvieron fieles a Einstein en los años treinta a pesar de la creciente polarización política que impulsaría al país hacia la guerra civil. Pero otras figuras de la derecha habían cambiado su opinión. Por ejemplo, Ricardo Royo-Villanova, quien, como rector de la Universidad de Zaragoza, había mandado preservar las pizarras utilizadas por Einstein durante su visita en 1923, diez años más tarde había ya identificado a Einstein como uno de los responsables de la desorientación de la ciencia contemporánea. Recordemos también que en 1923 la prensa presentó a Einstein como el gran sabio teutón, sin tomar conciencia de su etnia judía. Hasta el punto de que *El Siglo Futuro*, órgano tradicionalista y ultraortodoxo, pudo publicar reportajes sobre la visita de Einstein y algún artículo abiertamente antisemita en la misma página sin

establecer ninguna conexión entre ambos.

En 1933, diez años más tarde, la situación había cambiado. Einstein, gracias en parte a Hitler y en parte a la polarización política de España, se consideraba ahora bajo un criterio distinto. La oferta del gobierno español, con sus más o menos directas connotaciones relativas a la cuestión judía, se politizó dividiendo dramáticamente a los españoles en dos grupos: la derecha y la izquierda. Para comprobar que fue así, tomemos como ejemplos los del diario católico *El Debate* y los izquierdistas *El Liberal* y *El Heraldo de Madrid*. Se hará patente que en la forma en que estos periódicos trataron el tema aparecen ya algunos de los principales rasgos que hicieron de la guerra civil algo posiblemente inevitable.

El Liberal se fundó en 1879 a raíz de una escisión en *El Imparcial*, cuya moderación era insoportable para algunos de sus redactores. Desde sus comienzos, *El Liberal* adoptó un republicanismo moderado, mostrándose claramente anticlerical. Su éxito fue muy grande, pudiéndose decir que sus lectores se localizaban principalmente en la pequeña burguesía y en parte de la clase obrera. En 1913 su tirada era la muy respetable cifra de 115.000 ejemplares y se mantuvo más o menos uniforme (120.000 en 1920).

El Heraldo de Madrid fue fundado en 1890. Comprado en 1902 por José Canalejas, se convirtió en uno de los principales periódicos, defendiendo los intereses de la gran burguesía, hasta que en 1906 fue vendido a la Sociedad Editorial Española, de talante netamente liberal. En 1913 publicaba 124.000 copias, para pasar a 80.000 en 1920-1927.

El Debate, el último, era un «diario de la mañana, católico e independiente». Se publicó por primera vez en 1910. Un año más tarde únicamente vendía 4.500 ejemplares. Se nombró entonces editor a Ángel Herrera Oria, cargo que mantendría hasta febrero de 1933. El 1 de noviembre de 1911 salió el primer número de la nueva serie de *El Debate*, que afirmaba su empeño en «luchar para defender los derechos de la Iglesia y los intereses de la

Patria». Su éxito, sin embargo, no fue inmediato: en 1913 se publicaban únicamente 19.480 ejemplares, pero en 1920 ya alcanzaba las 150.000 copias, estabilizándose hacia 1931 entre los 60.000 y los 80.000 ejemplares.[118]

La polémica de la oferta a Einstein en la prensa española comienza claramente inmediatamente después de que Fernando de los Ríos anunciase, el 10 de abril de 1933, que el creador de la relatividad había decidido aceptar la cátedra madrileña. Así, el 11 de abril, y una vez dada la noticia anterior, *El Liberal* decía:

> Einstein —cuyas conferencias en Madrid durante el invierno de 1923 divulgó EL LIBERAL— es ya un amigo de España. Doctor «honoris causa» de la Universidad Central y miembro de la Academia de Ciencias, viene a un país donde tiene muchos admiradores, no sólo científicos, sino también sociales y políticos.
>
> El gran matemático fue uno de los firmantes del famoso manifiesto de 1914 cuando ya las naciones de Europa habían levantado barreras de odios, se alzaron contra el imperialismo teutón: bello gesto de un alemán, que antes que súbdito de un país que atropellaba los principios del Derecho se sintió amante de la democracia del mundo.
>
> Desde entonces, Einstein, que como todo investigador científico siempre ha estado tan sobrado de conocimientos como falto de dineros, ha vivido pobremente, con el producto de sus conferencias, despreciando las tentadoras proposiciones de una casa norteamericana, que convertían en realidad los delirios oníricos del rey Midas, para aceptar ahora la noble oferta del pueblo español, que sacudiendo su secular marasmo quiere ponerse en el lugar a que tiene derecho por su tradición científica y por el ansia de cultura que ha sabido despertar el Gobierno de la República.
>
> Einstein acude a España cuando, anulado por nuestra Constitución el famoso edicto de los Reyes Católicos, que expulsó a los judíos —imperdonable equivocación del gran estadista que llevaba dentro Isabel I de Castilla—, Alemania, su patria nativa, emprende una ofensiva feroz contra los israelitas, persiguiendo con saña a todos los que llevan en sus venas sangre semita. Y Einstein la lleva.
>
> Bien venido sea el grande hombre al viejo suelo español, y enhorabuena al Gobierno de la República, que al incorporar el

nombre de Einstein al cuadro de nuestros profesores da un nuevo paso para que nuestras universidades sean lo que fueron en el siglo XVI, y al propio tiempo, realiza un acto que es paradigma de tolerancia racial y religiosa.

Ante estas noticias y comentarios *El Debate* no tardaría en reaccionar. El miércoles, 12 de abril, aparecía un editorial titulado «Todo es relativo» en el que se lee lo siguiente:

Es lamentable que en los momentos en que se anuncia que un gran prestigio científico —Einstein— va a desempeñar cátedra en la Universidad madrileña, no se pueda prescindir de darle al asunto un marcado cariz político y sectario. Pierde así el tema las calidades que podrían hacerlo grato a la totalidad de los españoles y se incorpora a determinada tendencia como un hecho más... La Prensa que del caso se ocupa despacha en breves líneas el panegírico del Einstein hombre de ciencia para extasiarse ante el judío. «Einstein acude a España —dice uno— cuando, anulado por nuestra Constitución el famoso edicto de los Reyes Católicos que expulsó a los judíos..., Alemania, su patria nativa, emprende una ofensiva feroz contra los israelitas». «Einstein —dice otro— es una víctima de la persecución fascista contra los judíos». «España —dice otro, y conviene advertir que este otro es el rector de la Central— retribuye ahora a la Alemania eterna el admirable gesto que ésta tuvo para con los judíos expulsados de la Península en otro tiempo». ¡Qué más, si hasta la briosa juventud radical socialista se ha creído en el caso de opinar sobre el asunto: «Tal medida —dicen estos arriscados jóvenes— tiene ahora una trascendental significación humana y política».

He aquí, pues, lo que empezábamos diciendo. ¿Qué pensará Einstein de esta racha de elogios por aquello que menos importa en él, por aquello que no le hubiera distinguido de la suma vulgar de sus contemporáneos? ¿Hubiera pensado nunca en las posibles derivaciones políticas de la teoría de la relatividad? Ya conocerá más a fondo nuestros medios universitarios. Y cuando empiece a trabajar en ellos, creído acaso en que a ellos advino por méritos de su ciencia, puede que pregunte por aquellos hombres cuyo saber él estimaba y que esperará ver premiados y ensalzados en país tan amante de la cultura. Él, que dijo: «He descubierto un hombre extraordinario: Terradas», se enterará con asombro de que

Terradas perdió su cátedra en la Universidad de Madrid porque estaba tildado de hombre de «derechas».[119] Él, que cierta vez elogió a otros sabios de España, sabrá con dolor que alguno de ellos no puede explicar en nuestro país por ser un religioso católico [se refiere al P. Pérez del Pulgar]. Acaso entonces desconfíe un poco de estas patrias que se ofrecen a los de fuera y rechazan lo que les es propio, y de estos afanes de cultura en los que la cultura es lo de menos.

Es achaque de estos apasionados sectarismos pasar junto a los grandes valores del espíritu humano sin enterarse de ellos, en cuanto no pueden enrolarlos en la secta propia. El que Einstein deba a un movimiento de esa índole los ditirambos actuales y la nueva cátedra será una lección de los hechos que un sabio no puede menos de aprovechar.

El editorial anterior aparecía en la primera página del diario, y con ser duro no lo es tanto como los comentarios que aparecen en el mismo número en la página 8, en una sección titulada «Notas de block»:

Gran alegría porque Einstein se ha decidido a venir a España.

Aunque los diarios ministeriales aseguran que Einstein es una víctima de la persecución hitleriana, ni le ha sido negado el permiso para estudiar y enseñar en Alemania y menos para residir en aquel país.

Se destierra voluntariamente.

En cambio, son muchos los profesores españoles a quienes se les ha prohibido el derecho de enseñar en su patria, y expulsados y desposeídos de los centros donde ejercían su labor pedagógica sin que tuvieran una palabra de condolencia o de protesta los que hoy se derriten en ternuras por la situación de Einstein.

El ministro socialista se ha apresurado a ofrecerle protección. Judaísmo y marxismo se identifican y confunden. Al marxismo le da vida un judío y judíos son sus directivos más calificados en toda Europa.

De ahí ese gesto que la hipocresía disfraza con visos de comprensión y expresiones de fraternidad humana.

Tal protección el socialismo la reserva exclusivamente para sus correligionarios, sobre todo cuando son judíos.

Einstein, jesuita, hoy no podría entrar en España, con toda su ciencia y su fama, a pesar de la comprensión y de la fraternidad reinantes.

La polémica que se iniciaba de esta manera pronto transcendió incluso fuera de España. El *New York Times* del 12 de abril señalaba que «uno de los periódicos que apoyan al gobierno [se refiere sin duda a *El Liberal*] declara que la llegada [del Profesor Einstein] a Madrid... es un suceso cultural de primera importancia para la Península». Tras añadir algunos comentarios más de los ofrecidos por *El Liberal*, el *New York Times* señalaba que «por otra parte un diario católico [referencia clara a *El Debate*] critica amargamente el hecho de que mientras el gobierno abre ampliamente la frontera para recibir a un judío, españoles con merecimientos como el antiguo ministro de Obras Públicas, conde de Guadalhorce, iniciador de la política hidráulica que con tanto interés ha adoptado la República, y el Padre Pérez del Pulgar, que proporcionó educación técnica gratuita a legiones de trabajadores, están en el exilio, el primero porque sucedió que era el colaborador del general Primo de Rivera y el último porque es un jesuita».

El Heraldo de Madrid, que el 10 de abril había recibido con entusiasmo las noticias de De los Ríos que venían «a corroborar que se sigue cada vez con más acierto el rumbo que han trazado los hombres de la República para bien de España y prestigio del régimen», no podía dejar pasar desapercibidas las ideas expresadas por *El Debate*. Así, el 11 de abril, el *Heraldo* publicaba en su primera página el siguiente editorial:

> Pelé melé político.
>
> Nos damos la enhorabuena.
>
> No le ha parecido bien a «El Debate» el acto de Bilbao.[120] Démonos la enhorabuena. Démonos también la enhorabuena porque a «El Debate» no le entusiasma la incorporación de Einstein a la Universidad española. ¡Están tan definidos los campos de la República y de los amigos de «El Debate» que cualquier coincidencia nos parecería peligrosa! «El Debate» es lo más expresivo de la reacción española antirrepublicana y con él Acción Popular y la J.A.P., esa que creímos el nombre de un producto farmacéutico y que ha resultado ser una agrupación juvenil monárquica, hija legítima de la Acción Popular. A «El Debate», Acción Popular, la J.A.P., los jesuitas, los latifundistas,

etc., etcétera, no les ha parecido bien el acto de Bilbao. ¡Que conste!

Todavía *El Debate* volvería a la carga el 18 de abril en la sección «Notas del block» antes mencionada. Se lee allí:

> Los diarios de Berlín publicaron el día 12 una carta del profesor Einstein, a la que pertenecen las siguientes líneas:
>
> «En mis declaraciones a la Prensa he anunciado que renunciaba a mi puesto en la Academia de Ciencias y a mi cualidad de ciudadano prusiano, alegando como razón la de que no quiero vivir en un Estado donde los ciudadanos no son todos iguales ante la ley, y donde la libertad de palabra y de enseñanza no existe».
>
> Leído esto, nos confirmamos en que Einstein no vendrá a España.

No es necesario añadir más ejemplos para darse cuenta de lo profundo de la división ideológica en la sociedad española y cómo la ciencia se veía afectada por tal brecha.

Capítulo 8

LA MOVILIZACIÓN DE LA CIENCIA EN FAVOR DE LA GUERRA: LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

El 28 de junio de 1914, el archiduque Francisco Fernando, heredero del trono de Austria-Hungría, era asesinado en Sarajevo junto a su esposa, Sofía, duquesa de Hohenberg, por los disparos de un terrorista serbio de diecinueve años, Gavrilo Princip. A primeros de julio, y con el apoyo del káiser Guillermo II, Viena decidió presentar un ultimátum a Serbia, redactado en términos difícilmente aceptables. El 23 de julio la nota llegaba a poder del gobierno serbio, con la indicación de que disponía de 48 horas para responder, sin discusiones ni negociaciones. El día 25, Serbia respondía que aceptaba todas las condiciones menos una, la que preveía la participación de agentes austro-húngaros en investigaciones en territorio serbio. Inmediatamente, el Imperio austrohúngaro rompió, como quería desde un principio, las relaciones diplomáticas y el 28 declaraba la guerra a Serbia. A renglón seguido, el día 30, Rusia movilizaba a todas sus fuerzas; el día siguiente, Alemania exigía a Rusia la desmovilización. No habiendo respuesta, el 1 de agosto Alemania y Francia decretaban la movilización general. Ese mismo día Alemania declaraba la guerra a Rusia; a Francia lo hacía el día 3. Por su parte, los británicos, que habrían preferido una mediación, declaraban la guerra a Alemania el 4, el mismo día que el ejército alemán invadía Bélgica (lo que abría a los germanos la puerta del canal de la Mancha). Comenzaba la Gran Guerra, como se la denominó mientras no hubo necesidad de numerarlas, a la que pronto se unirían Montenegro (7 de agosto), Japón (23 de agosto) y Turquía (29 de octubre).[1] Mucho más tarde, el 6 de abril de 1917,

Estados Unidos se sumaba al bando aliado.

Mientras que las dos potencias centrales (Alemania y Austria-Hungría) eran claramente inferiores en habitantes —120 millones frente a los 238 (sólo de población europea) — a las naciones que formaban la Entente, la situación era bastante diferente en capacidad científico-tecnológica. Como hemos tenido ocasión de comprobar, Alemania era la gran nación de la química y la física, así como de la tecnología. Al afectar semejante situación al esfuerzo bélico, británicos, franceses y, en su momento, estadounidenses, tuvieron que reorganizar, cuando no simplemente organizar, su ciencia. Por su parte, los alemanes no podían dormirse en pretendidos laureles.

En el presente capítulo me ocuparé de estas cuestiones; de cómo afectó la guerra a las ciencias físico-químicas. En primer lugar, estudiaré los mecanismos de apoyo científico-tecnológico a la guerra que se implantaron en Gran Bretaña, país que por su situación y potencial se encontraba inicialmente en posición más favorable para intentar remediar sus carencias en tales campos. Veremos cómo la lucha contra los devastadores submarinos U alemanes fue uno de los problemas para los que se requirió la ayuda de los científicos aliados (franceses y estadounidenses incluidos). A continuación analizaré con cierto detalle la forma en que Estados Unidos se organizó para la guerra, ya que constituyó otro paso más, importante, en el camino hacia la posición dominante que en el futuro ejercería la nación norteamericana en la ciencia mundial. Por último, abordaré la situación y desarrollo de la química, lo que me dará ocasión no sólo de analizar las contribuciones germanas (a la lucha con gases tóxicos, por ejemplo), sino también para considerar los efectos de la guerra en la industria química mundial.

La ciencia británica durante la guerra

Una guerra siempre obliga a cambiar esquemas de comportamiento; valores y sistemas de organización se ven

con frecuencia trastocados. La Primera Guerra Mundial constituye un buen ejemplo en este sentido, especialmente en lo que se refiere a la necesidad de recurrir a una actividad, la ciencia, que aunque ya había mostrado, como vimos en el capítulo 2, su capacidad de afectar a la vida social, todavía había penetrado poco en las cerradas estructuras militares. Las necesidades que impuso la contienda obligaron a los gobiernos de las naciones afectadas a crear nuevas instituciones, a solicitar los conocimientos de los científicos, a de sa rro llar nuevos instrumentos y armas, así como a adecuar las instalaciones y material de sus ejércitos a las posibilidades que ofrecía la ciencia y la tecnología. La Armada de Estados Unidos, por ejemplo, pudo ignorar casi completamente la radio durante muchos años, no importa que el propio Guglielmo Marconi hubiese llevado sus aparatos a Norteamérica en 1899 y que el influyente *The New York Times* hubiera declarado (17 de diciembre de 1901) que la transmisión de costa a barco sería la única aplicación de la telegrafía sin hilos. Inercia, tradición, deseo por parte de la oficialidad de mantener la mayor independencia posible una vez abandonado el puerto, así como falta de preparación en el dominio de las nuevas tec no lo gías, figuran entre las razones que explican semejante anacronismo.[2] La entrada de Estados Unidos en la guerra cambió rápida y radicalmente tal situación. Un día después de la declaración de guerra, el presidente Wilson ordenaba que todas las emisoras de radio (telegrafía sin hilos) del país pasasen a depender de la Armada, lo que hizo que ésta terminase adaptándose a esa tecnología.[3] Otro ejemplo es el de cómo valoraban las Fuerzas Armadas a los científicos en los inicios de la guerra. Henry G. J. Moseley (1887-1915), el físico británico más prometedor de su generación, moría en 1915, a los veintiocho años de edad, en la batalla de Sari Bair, en la península de Gallipoli; su patria no había considerado que su participación en la guerra podría haber sido más útil en otros lugares.[4]

Naturalmente, las reacciones ante la guerra variaron de nación a nación. No aconteció lo mismo en Alemania, con

su gran desarrollo científico-tecnológico, que en Gran Bretaña, que dependía de aquélla para la importación de un gran número de productos. En efecto, el hecho de encontrarse en guerra con una nación como Alemania, líder mundial en la industria química, se hizo sentir inmediatamente en Gran Bretaña. Escaseaban, por ejemplo, los tintes artificiales, que la industria textil precisaba entre otras cosas para teñir los uniformes de los soldados (la producción nacional era alrededor de un quinto de la necesaria). Para intentar paliar este problema una de las primeras acciones del gobierno fue crear en 1914 la British Dyestuffs Corporation (Corporación Británica de Tintes), con un capital total de 3 millones de libras (la mitad aportada por el Tesoro) y 100.000 libras para investigación. También faltaban productos farmacéuticos, y acetona y fenol, necesarios para la fabricación de explosivos.

Aunque pronto se tuvo conciencia del problema que representaba la dependencia de la producción alemana, pasó algún tiempo antes de que el gobierno británico estableciese una agencia (con mayores competencias que la British Dyestuffs Co.) para tratar de remediar, o paliar cuando menos, las dificultades que ocasionaba la guerra, no sólo por la carencia de bienes importados de Alemania, sino también por otras, consecuencia directa de la lucha, con las que nos encontraremos más adelante. De entrada, la responsabilidad de todo lo relacionado con la investigación científico-tecnológica recayó en la War Office (Ministerio de la Guerra) y el Almirantazgo (a partir de 1915 también del Ministerio de Municiones).

En general, fueron los científicos (tanto de Francia como de Gran Bretaña y Estados Unidos) los primeros en darse cuenta de que en esta guerra se iba a necesitar a la ciencia mucho más de lo que se había requerido en cualquier otra contienda del pasado. El 4 de agosto, esto es, el día después de que Alemania declarase la guerra a Francia, la Académie des Sciences se ponía a disposición de su gobierno para mediar entre él y la comunidad científica francesa. Dos meses después, el químico y premio Nobel

británico William Ramsay proponía en un artículo publicado el 8 de octubre en *Nature* que la Royal Society siguiese el ejemplo de la institución parisina. El 5 de noviembre el Consejo de la Sociedad establecía un Comité, que incluía a Ramsay, Oliver Lodge, Alfred Ewing y el director del National Physical Laboratory, Richard Glazebrook; el jefe del Servicio de Guerra Naval, Henry Jackson, servía de conexión con el Almirantazgo. El propósito del Comité era «ayudar al gobierno a llevar a cabo o sugerir investigaciones científicas en relación con la guerra». Se constituyeron subcomités de química, ingeniería y física y se envió una circular a los diferentes cuerpos de las Fuerzas Armadas preguntándoles qué problemas científico-tecnológicos deseaban que se intentase resolver. Sin embargo, salvo en el caso de la Armada, las reacciones fueron escasas.

Durante prácticamente el primer año de guerra, el gobierno británico se limitó a improvisar modos de organizar la ciencia (la química, esencialmente) y la tecnología en apoyo de las necesidades nacionales. A partir de la primavera de 1915, sin embargo, la situación comenzó a cambiar algo. En julio el gobierno establecía una Board of Invention and Research (Junta de Invención e Investigación) para servir a la Armada, el cuerpo de las Fuerzas Armadas más activo en lo que al uso de la ciencia se refiere en todas las naciones que intervinieron en la Gran Guerra.[5] No mucho después, en diciembre, en Francia se fundaba una Direction des Inventions (Dirección de Inventos).

La creación de la Board of Invention and Research (BIR) debió mucho a Arthur Balfour, Primer Lord del Almirantazgo, que estaba muy interesado en la ciencia. Al frente de la nueva organización se puso a Lord Fisher, que acababa de abandonar el puesto de Primer Lord del Mar (equivalente a ministro de Marina).[6] De Jackie Fisher dependía un Comité Central, del que formaban parte el gran físico (y en aquel momento también presidente de la Royal Society) J. J. Thomson, Charles Parsons, inventor de

la turbina de vapor y que dirigía su propia compañía, y George Beilby, un químico industrial importante (era el director de Castner-Kellner Alkali); en julio de 1916 se incluyó a un miembro de la Armada, el vicealmirante Richard Peirse. Las funciones de la BIR eran:7

1) Aglutinar investigaciones científicas a cargo de expertos en ciertos problemas concretos cuya solución sea importante para el Servicio Naval.
2) Estimular investigaciones en direcciones en las que sea probable que se [puedan] obtener resultados de interés para la Armada mediante un esfuerzo científico organizado.
3) Evaluar sugerencias presentadas por inventores y otros miembros del público en general.

Al Comité Central le ayudaba un panel de expertos, entre los que se contaban científicos tan señalados como los físicos William Henry Bragg, William Crookes, Oliver Lodge, Ernest Rutherford y Gerald Stoney. Como vemos, en la BIR trabajaron algunos de los científicos más distinguidos de la nación. Las secciones (o comités) que la constituían estuvieron dedicadas a: Detección de submarinos, Aeronáutica, Construcción naval, Ingeniería marina, Motores de combustión interna, Combustibles, Defensa antiaérea, Gases tóxicos y Artillería y municiones. Probablemente el comité más activo fue el de Detección de submarinos, del que me ocuparé en la sección siguiente; asimismo, la Junta tuvo una intensa actividad examinando las propuestas enviadas por el público. Fueron tan numerosas (a lo largo de los años de guerra llegaron a superar las 100.000) que hubo que crear una oficina con bastantes empleados y un cierto número de expertos procedentes de la Oficina de Patentes. Un trabajo en general baldío, ya que sólo aproximadamente treinta de entre todas las ideas presentadas fueron de alguna utilidad; sin embargo, su valor político y social fue mayor.8

La BIR era una iniciativa interesante que, de hecho,

funcionó razonablemente, pero se limitaba a asesorar a la Armada; era un elemento más de un sistema improvisado, que movilizó una buena parte de los recursos científicos de la nación. Como lo expresó J. J. Thomson en 1916, durante el tradicional discurso que el presidente de la Royal Society pronunciaba cada año:9

> Las posibilidades de prácticamente cada laboratorio de la nación se han dedicado a trabajos encaminados a servir a nuestro ejército o Armada. El número y la naturaleza de estas investigaciones muestra palpablemente la medida en que incluso la más recóndita de entre las ramas de la ciencia puede encontrar aplicación en la guerra moderna. Muchas de estas investigaciones son extremadamente difíciles; hay que detectar efectos en medio del ruido de una batalla que antes se ha bían considerado casi imposibles de medir en la tranquilidad de un laboratorio. Además, los trabajos han tenido que hacerse en una carrera contra el tiempo, y en unas condiciones, surgidas de la guerra, en las que aparatos y ayuda son muy difíciles de obtener. Creo que la experiencia que hemos ganado en los dos últimos años apunta claramente en la dirección de que es de sea ble disponer permanentemente, tanto en el ejército como en la Armada, de laboratorios especiales, equipados adecuadamente y en estrecha colaboración con servicios cuya misión debería ser el descubrimiento y de sa rro llo de aplicaciones de la física, química e ingeniería para fines militares o navales.

Pero el director del Cavendish Laboratory también tenía en mente otras cuestiones que iban más allá de las relacionadas con las dramáticas circunstancias que se estaban viviendo. Estaba la «cuestión de cómo remediar mejor aquellos defectos de nuestra organización industrial y métodos educativos que se han puesto de manifiesto bajo la presión a que se ha visto sometida la nación bajo la guerra. Muchos de estos defectos están estrechamente relacionados con la ciencia, pero no lo están menos con consideraciones económicas y políticas». En otras palabras, Thomson se estaba refiriendo a que faltaba algún tipo de organización con mayores pretensiones que la BIR.

De hecho, la necesidad de contar con algún departamento gubernamental que ayudase a mejorar la

investigación científica realizada en las universidades y que colaborase en transmitir los resultados de esos trabajos a la industria nacional se había hecho sentir hacía tiempo.[10] Desde 1909 existía un departamento con esas características dentro de la Board of Education (Junta de Educación). Para coordinar las investigaciones médicas y biológicas realizadas en diversos organismos públicos, se fundó en agosto de 1913 un Medical Research Committee (Comité de Investigación Médica); ni en el resto de Europa, ni en Estados Unidos existía por entonces una institución parecida.

Dados estos precedentes, no es sorprendente que al estallar la guerra y apreciarse las urgentes necesidades científico-tecnológicas de la nación, se decidiese crear una institución dedicada a la «organización y desarrollo de la investigación científica e industrial». En primer lugar, y con la recomendación de la Board of Education, el gobierno elaboró el 23 de julio de 1915 un memorándum —*Scheme for the Organization and Development of Scientific Research and Industrial Research*—explicando la idea, funciones y financiación de tal organización. En este documento se señalaba explícitamente que el establecimiento de una institución estatal para promocionar y organizar la investigación científica no era únicamente una respuesta inmediata a las exigencias de la guerra, sino que pretendía constituir una solución permanente cuando aquélla finalizase. El *Scheme* sugería que se estableciesen dos comités, uno político y otro científico. Ambos se crearon rápidamente: el político (Committee of the Privy Council; Comité del Consejo Privado) era responsable ante el Parlamento, el científico (Advisory Council; Consejo Asesor) debía determinar la política de investigación que seguir; se constituyó en agosto de 1915 e incluía entre sus miembros al famoso físico Lord Rayleigh. Finalmente, en diciembre de 1916, se creó formalmente la institución en cuestión: el Department of Scientific and Industrial Research (DSIR; Departamento de Investigación Científica e Industrial).[11]

Al igual que en el caso del Medical Research

Committee, el DSIR constituyó una aportación original a la política científica mundial; ningún otro país tenía semejante organización que controlase, o pretendiese controlar, la investigación científica nacional y la relación de ésta con la industria.12 La guerra, por supuesto, ayudó, pero el propio desarrollo científico-tecnológico británico y la estructura de su sociedad apuntaba en esa dirección. Estados Unidos, por ejemplo, tenía otra tradición, descentralizada, y en la que la iniciativa privada dificultaba la creación de organizaciones parecidas. Y en Alemania, los distintos estados también dificultaban una política demasiado centralizada.

Las tareas asumidas por el DSIR involucraban a prácticamente todas las ramas de la ciencia y la tecnología (con la excepción de la medicina, agricultura, pesca y bosques). Su método de funcionamiento era diverso: por un lado, repartía ayudas económicas a individuos, grupos e instituciones. En algunos casos, apadrinaba instituciones, que pasaban a depender de él; tal es el caso del National Physical Laboratory, que pasó a estar bajo su jurisdicción en 1918, dejando, por consiguiente, de depender de la Royal Society (por cierto, que el NPL también cambió bastante durante la guerra; basta con decir que mientras que en julio de 1914 su personal era de 187 personas, en marzo de 1918 llegaba a 532).13 En 1919 sucedió lo mismo con la Geological Survey (Observación Geológica) de Gran Bretaña, que hasta entonces había dependido de la Board of Education; y en 1928 obtuvo el control del Chemical Research Laboratory (Laboratorio de Investigación Química), al que se le cambió el nombre, pasando a ser denominado National Chemical Laboratory.

Los siguientes datos dan idea del cambio cuantitativo que el DSIR introdujo en la ciencia británica: en 1916-1917 se repartieron 11.055 libras para ayudas de investigación; en 1922 la cifra ya había subido a 93.570; el presupuesto del National Physical Laboratory también se vio afectado favorablemente con la nueva institución: en 1913-1914 era de 43.713 libras, mientras que en 1922, después de haber sido ampliado considerablemente, sólo el Departamento de

Investigación tenía un presupuesto de 154.650 libras.[14]

A partir de mediados de 1917 el DSIR, en colaboración con la industria y con la Board of Trade (Junta de Comercio), inauguró una nueva forma de promoción de la ciencia y la tecnología en Gran Bretaña: la creación de Autonomous Research Associations (Asociaciones de Investigación Autónomas), cuyos costes eran compartidos por igual entre el DSIR y grupos de industrias interesadas. Para desarrollar este proyecto el Parlamento aprobó un presupuesto de un millón de libras para cinco años. En 1922 ya funcionaban nueve de estas Research Associations, se habían aprobado ocho, y otras doce estaban formándose; se ocupaban preferentemente de nuevas tecnologías, como la fotografía, instrumentos científicos, producción de maquinaria, vidrio, combustibles o radio; esto es, abundaban las industrias nuevas que no habían desarrollado todavía grupos de investigación y desarrollo propios. Las industrias tradicionales (carbón y construcción naval, por ejemplo) no participaron, como tampoco lo hizo la industria química, que ya contaba con sus propios departamentos de investigación.

Muestra de la importancia que tuvo el DSIR es que constituiría la médula espinal de la política científica del gobierno británico a lo largo de casi medio siglo, hasta que fue disuelto en 1964, durante la reorganización ministerial emprendida por Harold Wilson, siendo sustituido por el Science Research Council (Consejo de Investigación Científica) y el Ministerio de Tecnología.

La ciencia, al servicio de la detección de submarinos

En el momento de la creación de la BIR la necesidad más apremiante del Almirantazgo era encontrar algún método para detectar y combatir a los submarinos alemanes. La magnitud del peligro había quedado clara el 22 de septiembre de 1914 cuando uno de ellos hundió tres cruceros: el *Hogue*, el *Cressy* y el *Aboukir*. Hasta entonces la actitud que prevalecía en la Armada británica era de

desprecio hacia lo que se consideraba un «poco limpio, desleal y no británico» modo de lucha, practicado por tripulaciones que deberían ser consideradas como «piratas y colgadas», por consiguiente, en caso de ser apresadas.15

Enfrentada con este problema, la Board seleccionó como punto prioritario de la sección II («Submarinos, minas, reflectores, telegrafía sin hilos y eléctrica en general y temas electromagnéticos, ópticos y acústicos») el de la detección submarina. Así, solicitó a Rutherford que preparase un informe sobre los diversos métodos que se habían utilizado hasta entonces para detectar sonidos en el agua.16 En su comunicado, Rutherford señaló que el procedimiento más prometedor era el de emplear un hidrófono (micrófono en el agua). Básicamente, la idea era la siguiente: el sonido se propaga con facilidad a través del agua; se puede, por ejemplo, sumergir un tubo cerrado con un diafragma en uno de sus extremos, que aísla el interior del tubo del contacto con el agua; cuando pasan sonidos, el diafragma vibrará y producirá ondas sonoras en el aire existente en el interior del tubo, y tales ondas sonoras pueden ser detectadas fácilmente con un micrófono.

Naturalmente, existían problemas. El primero, que el propio barco en el que se instala el detector produce ruido. En consecuencia, un micrófono sumergido en el agua y arrastrado por un barco registrará sonidos incluso aunque no haya ningún submarino por los alrededores. Afortunadamente, el oído humano es capaz, con algo de entrenamiento, de distinguir sonidos, y fue en esta facultad en la que se apoyaron los primeros detectores, pero obviamente no era una solución satisfactoria. En segundo lugar, escuchar únicamente no es suficiente: hay que localizar al submarino; averiguar su posición, velocidad y dirección en que se mueve. Ahora bien, algunas propiedades físicas del agua marina (como la velocidad del sonido en el agua, o el efecto que sobre ella ejerce la temperatura y la salinidad) no eran bien conocidas; de hecho, se utilizaban datos de experiencias realizadas en el lago de Ginebra en 1827 para medir la velocidad del sonido

en el agua, así como otras llevadas a cabo en 1888 por Richard Threlfall y John F. Adair sobre la velocidad de ondas provocadas por explosiones en el mar. Para resolver estos problemas se formó en la primavera de 1916 un equipo, dirigido por William H. Bragg, en la Estación Experimental Naval de Hawkcraig, en el Firth of Forth (Escocia), cerca de la base naval de Rosyth, donde ya había estado trabajando en el tema desde diciembre de 1915 el capitán C. P. Ryan, un oficial con escasa formación científica.[17] Por su parte, Rutherford transformó una de las salas de su laboratorio de Manchester para dedicarla a tales investigaciones; de hecho, a través de la BIR llegó a obtener en 1916 una patente, junto a W. H. Bragg, sobre «Mejoras en aparatos para detectar la dirección del sonido en el agua».[18] A. B. Wood, que estuvo asociado con Rutherford en estos trabajos, describió la actividad de éste de la manera siguiente:[19]

> Se podría haber supuesto que a una persona como Rutherford no le habría sido posible cambiar fácilmente de átomos a submarinos. Obviamente semejante cambio requirió un gran esfuerzo por su parte... Estudió acústica submarina, sobre la que se sabía poco, en un tanque especial que había construido en la planta baja de su laboratorio en Manchester. Sus primeros trabajos en este laboratorio con tubos de Broca, diafragmas, micrófonos y diversos tipos de transmisores y receptores exigían pruebas en condiciones reales, esto es, en el mar. A partir de noviembre de 1915, se puso en marcha hacia la estación de investigación de Hawkcraig un flujo continuo de ideas e instrumentos, para ser ensayados en barcos y submarinos. Al mismo tiempo continuaba con su trabajo universitario y efectuaba numerosas visitas a Londres para asistir a las reuniones de la Board of Inventions and Research.

En Hawkcraig, la BIR puso a disposición de Bragg dos físicos como ayudantes, así como un técnico. La idea era que Ryan continuase trabajando por su cuenta, apoyado por el Almirantazgo, y que Bragg hiciese lo propio con el soporte de la BIR; naturalmente, se deseaba que ambos grupos cooperasen. Hacia mayo de 1916, Bragg había

avanzado bastante en el desarrollo de detectores; sin embargo, surgieron grandes dificultades para probarlos en el mar. Durante una visita que efectuó en septiembre de 1916, el Comité para Submarinos de la BIR encontró que la situación del proyecto era insatisfactoria. Aparentemente, aparte de que en Hawkcraig era difícil entrar en contacto con gente que tuviese que usar realmente los aparatos, también se notaba la dificultad añadida de que la Armada se encontraba dividida en dos partidos: pro Fisher y anti Fisher, y todo lo que tuviese que ver con Lord Fisher (director de la BIR, recordémoslo) era mal visto por estos últimos. Según J. J. Thomson, los enfrentamientos llegaron a tal punto que el grupo anti Fischer se refería a la BIR como «Board for Intrigue and Revenge» (Junta de Intriga y Venganza).

Es cierto que enfrentamientos se han dado en todos los campos y en todas las épocas. Sin embargo, en este caso hay un elemento distintivo: durante la Primera Guerra Mundial el papel de la ciencia como instrumento militar no se reconocía tan universalmente como lo sería después (durante la Segunda Guerra Mundial, en particular, y a partir de ella), y en los casos en que se reconoció no se tenía la práctica administrativa suficiente como para que las cosas funcionasen fluidamente. Por ello, no es sorprendente encontrarse con sectores dentro de las Fuerzas Armadas que no colaborasen demasiado con los científicos.

Para intentar mejorar la situación del proyecto de detección submarina, a finales de 1916 se decidió trasladar la sede a una nueva base naval: a Parkeston Quay, cerca de Harwich, donde hubo que construir otro laboratorio. En una carta que Bragg envió a Rutherford en 1916, cuando se estaba considerando el cambio de sede, se puede apreciar tanto parte de los trabajos que se estaban realizando como algunas de las razones que aconsejaban la mudanza:[20]

> Fui el otro día al depósito de Enfield para ensayar el efecto Rayleigh y todo salió bien. Tenía dos pequeños Brocas, uno para cada oído. El sonido parecía desplazarse de un oído al otro. Algunas veces persistía en ir en el sentido equivocado, y

de repente se corregía él solo. Estoy haciendo que me construyan uno más sólido para probarlo en el mar.

He escrito a Hall después de visitar Harwich. Recibí una larga y amigable carta de contestación expresando, sin embargo, la mayor de las sorpresas relativa a nuestra elección de Harwich, señalando que se trata de un lugar en el que sólo es posible llegar a aguas profundas arriesgándose a encontrarse con las minas de Fritz [así se referían los británicos a los alemanes], y que en cualquier caso se trata de un sitio malísimo. He tratado de explicar que ya hemos realizado muchos experimentos en aguas profundas y que de todas maneras podríamos establecer una subsección en Blyth o en Plymouth. Lo que queremos es tener contacto con la gente que está utilizando de hecho los aparatos de escucha. Espero que en Harwich seamos capaces de realizar los experimentos de comparación que queremos hacer...

Hall realizó un comentario muy interesante. Dijo: «El asunto está claro: queremos un aparato de escucha para utilizarlo hasta 8 nudos en un barco rastreador o de tipo similar, lo demás es cosa de lanzar una carga de profundidad».

Le he escrito diciéndole que prácticamente tenemos lo que quiere. No podemos construir un receptor que sea remolcado a 8 nudos; pero podemos detener un barco, escuchar, obtener la dirección y comenzar de nuevo. Podemos hacer esto con un barco que tenga el suficiente poco calado como para que no se le pueda torpedear, y que pueda disponer de poder ofensivo y defensivo suficiente como para hundir un submarino. La velocidad puede incluso promediar 8 nudos; ciertamente sería mucho más rápido que la velocidad media de un submarino sumergido.

Con el cambio de base se perdieron varios meses, y mientras tanto los submarinos alemanes se iban haciendo cada vez más rápidos y más silenciosos, lo que aumentaba la dificultad de su detección. La técnica más prometedora vino del lado francés: la detección mediante eco (rebote de señales) con ultrasonidos. La idea había sido sugerida a finales de 1914 por el ingeniero ruso Constantin Chilowsky, después del hundimiento del *Titanic*. En octubre de 1915 el papel de la ciencia en apoyo de la guerra recibía en Francia un impulso notable cuando el matemático Paul Painlevé fue nombrado ministro de Instrucción Pública y de Inventos. Interesado por la idea de Chilowsky, Painlevé pidió al físico

Paul Langevin que intentase ponerla en práctica.[21]

En colaboración con Chilowsky y con la ayuda de dos antiguos alumnos de la École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles de París, Langevin comenzó pronto a obtener resultados (a finales de 1915 se transmitían las primeras señales en el agua en el Sena). El 29 de mayo de 1916, Langevin y Chilowsky registraban una patente.[22] De este documento son los párrafos siguientes:

> Ya se han propuesto procedimientos acústicos para detectar a distancia la presencia de obstáculos peligrosos para la navegación, como minas, submarinos, torpedos, arrecifes, icebergs, navíos entre la bruma. Su poca eficacia se debe a que el sonido emitido se propaga en todas direcciones y se debilita rápidamente con la distancia; por otra parte, la recepción del eco sonoro producido por el obstáculo no da sino con dificultad la posición de éste.
>
> Los procedimientos y aparatos que son objeto de este invento no presentan esos defectos y permiten además la producción de señales secretas dirigidas, para las aplicaciones militares.
>
> El procedimiento consiste en la producción, bajo el agua, de oscilaciones mecánicas ultrasónicas; esto es, de frecuencia muy alta, haciendo vibrar sincrónicamente todos los puntos de una superficie de emisión cuyas dimensiones lineales son grandes con respecto a la longitud de la onda de las oscilaciones emitidas en el agua.

Los aparatos descritos en la patente de 1916 utilizaban las interacciones eléctrica y magnética para producir las vibraciones necesarias. Sin embargo, este procedimiento no era lo suficientemente sensible, por lo que Langevin recurrió a la piezoelectricidad del cuarzo que Jacques y Pierre Curie habían descubierto en 1880. El propio Langevin había visto, quince años atrás, a Pierre Curie utilizar la piezoelectricidad en sus estudios de radiactividad para medir corrientes muy débiles. Cortando de manera adecuada los cristales de cuarzo, éstos se podían dilatar y contraer bajo la acción de un campo eléctrico y, recíprocamente, al comprimirlos o dilatarlos mecánicamente se cargaban. Al aplicar a un cristal de cuarzo un potencial eléctrico que cambiase de polaridad, el

cristal vibraba y las vibraciones producían ultrasonidos. Lo que hizo Langevin fue introducir un cristal de cuarzo en el agua y aplicarle una corriente alterna de frecuencia apropiada; entonces el cristal vibraba produciendo en el agua un pulso de ondas sonoras de la longitud que se desease. Al encontrar un obstáculo (un submarino o una mina, por ejemplo) tales ondas rebotaban. El eco debería ser recibido por el mismo emisor de cuarzo, creando una débil corriente alterna, que en principio cabía esperar que fuese posible detectar con instrumentos eléctricos adecuados, al igual que lo había hecho Curie en el pasado. Ahora bien, las corrientes que intervenían en estos fenómenos eran demasiado débiles, por lo que el problema distaba de quedar resuelto, ni siquiera en principio.[23] La electrónica, que en el futuro iba a ser dueña todopoderosa de una gran parte de la sociedad, incluyendo a las Fuerzas Armadas, comenzaba a dar señales inequívocas de su importancia. En marzo, Langevin construía un receptor de cuarzo, utilizando un triodo como amplificador. En abril comenzaba los ensayos en la base que la Marina francesa tenía en Toulon. En 1917 se dio un paso importante, al desarrollar la Radiotélegraphie Militaire una nueva válvula amplificadora que permitía que las débiles señales piezoeléctricas no se viesen enmascaradas por el ruido generado por el propio amplificador. Más tarde, Langevin dio con otra idea que significó un avance importante: utilizar el fenómeno de la resonancia para amplificar aún más las señales.

La colaboración franco-británica funcionó en este dominio, y a finales de 1916 Rutherford ya había encargado a un grupo del BIR que llevase adelante experiencias similares a las de Langevin. En marzo de 1918, este grupo recibía ecos de un submarino situado a 457 metros, utilizando un transmisor, un receptor de cuarzo y un amplificador del tipo Langevin. Este procedimiento, denominado ASDICS (Anti-Submarine Division-ics), continuó siendo desarrollado, ahora con rapidez, y si la guerra hubiera durado seis meses más es muy posible que

hubiese llegado a ser operativo en la Royal Navy.[24]

La entrada de Estados Unidos en el bando aliado, en abril de 1917, significó también su admisión en el círcu lo de las investigaciones antisubmarinas. Una comisión franco-británica, formada por Rutherford, el comandante Cyprian Bridge, Charles Fabry (Universidad de Marsella), Henri Abraham (Universidad de París) y tres militares más se desplazó a Wash ing ton D. C. para intercambiar información con sus nuevos aliados.

La situación en que se encontraba entonces la lucha antisubmarina en Europa queda clara en la carta siguiente, que los dos jefes de la misión francesa, Fabry y Abraham, enviaron al físico Robert Millikan, uno de los científicos norteamericanos más activos en este campo, poco antes de regresar a Francia, el 11 de agosto:[25]

> Querido profesor Millikan:
>
> Al abandonar Estados Unidos deseamos expresarle nuestro punto de vista en el asunto de la guerra submarina. Comprenderá, por supuesto, que lo que manifestamos es simplemente una opinión personal, en absoluto oficial.
>
> 1) El problema de la detección submarina se está estudiando seriamente en Estados Unidos. Los resultados obtenidos aquí representan progresos apreciables sobre los métodos conocidos hasta ahora. Pero todavía no es posible detectar un submarino y localizar su dirección salvo a distancias muy pequeñas. Aún es necesario que el buque escucha se detenga para detectar incluso a un submarino en movimiento.
> 2) Se deben continuar las investigaciones científicas para mejorar, si es posible, los medios en uso actualmente, pero merece la pena poner en operación los instrumentos ya de sa rro lla dos, por muy limitada que sea su efectividad.
> 3) Las informaciones sensacionalistas publicadas repetidamente no representan la rea li dad. Se corre el peligro de que el público se duerma con la idea de que un invento maravilloso hará de sa pa recer el peligro de la guerra submarina sin esfuerzo y casi sin gastos.
> 4) El peligro es muy grave. El tonelaje hundido cada mes supera al medio millón de toneladas y aumentará si no logramos destruir más submarinos de los que el enemigo es capaz de construir. Reem pla zar los barcos hundidos

construyendo otros nuevos es un remedio ilusorio, ya que es imposible construir cada mes un tonelaje tan grande como el que es destruido.

Si no logramos destruir a los submarinos, el tonelaje del que se dispondrá para transportes será *cero* en un número pequeño de meses.

Solamente con un *programa ofensivo* seremos capaces de mantener la libertad del mar, una condición necesaria para la victoria.

5) Para ser capaces de atacar al submarino es necesario verlo o detectarlo de alguna manera. Sea cual sea la táctica seguida y el método de detección, el número de cazadores de submarinos debe ser muy grande. No se trata de docenas o de cientos los que deberemos tener, sino de miles.
6) Probablemente no sea suficiente construir como barcos ofensivos únicamente destructores del tipo clásico. La necesidad de construir rápidamente un número muy grande de barcos obligará sin duda a reducir el tonelaje y la velocidad. Sin embargo, es necesario retener el suficiente armamento, un radio de acción muy amplio y una gran capacidad de maniobra para poder acabar con esta guerra, y es necesario poner en operación este programa en un tiempo muy pequeño.
7) El esfuerzo que se debe hacer es enorme, sin precedentes; más grande que el que Estados Unidos acaba de hacer en el dominio de la aviación. Hay, por consiguiente, que organizar inmediatamente una producción inmensa de barcos y cañones, e instruir sin demora a miles de oficiales y a sus tripulaciones.

Pero el peligro es inmenso. Sin este esfuerzo América se verá aislada de Europa y el espléndido esfuerzo comenzado en Estados Unidos se evaporará.

El peligro era, en efecto, enorme: sólo en el mes de abril 900.000 toneladas de barcos aliados habían sido hundidas por los submarinos germanos. Aunque no se había hecho público por motivos obvios, Gran Bretaña se encontraba al borde del colapso, sin reservas más que para unas seis semanas. La situación era tan dramática que se decidió probar con otros métodos de detección de submarinos menos convencionales. La BIR recibió la sugerencia de que podría ser posible detectar submarinos

con leones marinos. Con tal fin se alquilaron algunos de estos animales. El primer problema era ver si eran capaces de detectar los sonidos producidos por los submarinos; para ello se realizaron experimentos, primero en piscinas y después en el lago Bala, en el norte de Gales. El procedimiento seguido era producir un sonido debajo del agua, golpeando, por ejemplo, un metal con un martillo y colocar comida en la fuente del sonido. Los leones marinos eran capaces, efectivamente, de escuchar el ruido y pronto se acostumbraron a asociar fuente de sonido y alimento. En el lago, en ocasiones fueron capaces de llegar a la comida desde casi 5 kilómetros de distancia. Existían, no obstante, varios problemas. Por un lado, que eran bastante temperamentales; en ocasiones sólo iban hacia la fuente sonora cuando se encontraba relativamente cerca, y en tiempo cálido eran menos eficaces que en días fríos. Además eran más lentos de lo previsto: tardaban 40 minutos en recorrer 5 kilómetros, por lo que, en el mejor de los casos, sólo habrían servido para localizar submarinos muy lentos.[26]

Aunque la situación en que se encontraba Gran Bretaña no se había hecho pública, muy probablemente los alemanes sabían que en el mantenimiento —y si era posible, aumento— del aislamiento británico se encontraba una de las claves para su posible victoria, y así declararon una guerra submarina sin restricciones, esto es, atacando incluso a barcos de naciones neutrales, con la intención de imponer un bloqueo total a las islas Británicas.

Inicialmente los armadores norteamericanos decidieron detener el tráfico mercante hacia la zona del bloqueo, pero la economía sigue sus propias leyes, en ocasiones no menos implacables que las físicas. Las exportaciones con destino a Gran Bretaña, Francia y sus aliados europeos representaban las tres quintas partes de las exportaciones totales de Estados Unidos y en pocos días los puertos norteamericanos se encontraron saturados de mercancías, enviadas tanto por los industriales de Ohio, como por los agricultores del Medio Oeste, o por los algodoneros del Sur.

Por otra parte, a primeros de 1917 los servicios secretos británicos informaron a los estadounidenses que el ministro de Asuntos Exteriores alemán, Arthur Zimmermann, planeaba realizar a México la propuesta de que si Estados Unidos entraba en guerra con Alemania, ésta ofrecería a México una alianza, que incluía un importante auxilio financiero, así como ayuda para reconquistar los territorios anexionados por Estados Unidos en 1848, esto es, Texas, Nuevo Méjico y Arizona (Zimmermann envió, de manera secreta y por tres canales diferentes, al embajador de Alemania en Washington D. C. las instrucciones para que pusiese en marcha este plan, pero los británicos interceptaron los tres e informaron a Estados Unidos). Inmediatamente, el presidente Woodrow Wilson publicó el telegrama de Zimmermann, con lo que se reforzó el sentimiento de los norteamericanos en contra de Alemania, que era bastante intenso desde el hundimiento, el 7 de mayo, del *Lusitania* a la altura de la costa irlandesa.27 El 3 de febrero (1917) Estados Unidos rompía las relaciones diplomáticas con Alemania, y el 26 de febrero Wilson proponía tomar medidas de defensa armada para proteger el comercio americano; técnicamente, adoptar una postura de «neutralidad armada». La Cámara de Representantes aprobaba la propuesta, pero en el Senado, quince senadores obstaculizaron la toma de una decisión. Sin embargo, Wilson decidió actuar por cuenta propia y dio órdenes el 12 de marzo para que la flota mercante americana llevase cañones. Ese mismo día un barco de víveres era atacado por un submarino alemán. El día 19 el vapor *Vigilentia* era hundido con toda su tripulación. El 20, Wilson declaraba a sus colaboradores que ya existía un estado de guerra en la práctica entre Estados Unidos y Alemania. El 2 de abril, Wilson se dirigió a la nación para informarles de su decisión de entrar en guerra contra Alemania: «El derecho es más precioso que la paz», manifestó, «y nosotros lucharemos por las cosas que siempre hemos guardado con mayor celo en nuestros corazones, por la democracia, por el derecho de aquellos que se someten a la autoridad para

tener voz en sus propios gobiernos, por los derechos y libertades de las pequeñas naciones, por la supremacía universal del derecho mediante un concierto de pueblos libres que aporte paz y seguridad a todas las naciones y por fin haga libre al mundo». El Senado y la Cámara de Representantes aprobaron la propuesta de Wilson e inmediatamente Estados Unidos se puso en marcha en apoyo de Gran Bretaña y Francia. Una de las medidas fue la organización de convoyes de barcos para romper el bloqueo alemán. Los políticos y militares alemanes habían tensado tanto la cuerda que la habían roto. Y lo dramático —para ellos, naturalmente— es que todo parece indicar que no habrían necesitado ampliar el bloqueo a los barcos neutrales para que Gran Bretaña se viese desprovista de recursos. Además, los esfuerzos científico-tecnológicos para combatir a los submarinos alemanes estaban todavía muy lejos de poder ser aplicables. Los submarinos fueron neutralizados mediante la utilización de una gran cantidad de buques, y aunque algunos de estos navíos iban equipados con hidrófonos, la detección acústica desempeñó un papel menor en su destrucción. Parece que sólo cuatro submarinos alemanes fueron hundidos gracias a los hidrófonos; la mayoría lo fueron después de haber sido localizados visualmente.

A pesar del escaso éxito práctico que la detección acústica tuvo entre los aliados, al acabar la guerra las Armadas británica y estadounidense estaban convencidas de que este método, el del sonido, o *sonar*, era fundamental para combatir a los submarinos. No es sorprendente, por consiguiente, que la investigación continuase después de 1918, y no sólo entre los aliados, sino también en Alemania. Así, al comienzo de la Segunda Guerra Mundial sus protagonistas se encontraban en una situación parecida en lo que a conocimientos de acústica submarina se refiere, aunque sus respectivas tecnologías de sonar habían progresado en direcciones diferentes.

Cuando, a finales de mayo de 1915, poco después del hundimiento del *Lusitania*, el inventor Thomas A. Edison pedía desde las páginas de *The New York Times* que la nación comenzase a prepararse para la posibilidad de una guerra, por entonces no existía ninguna agencia adecuada, ni dentro ni fuera de la administración, para llevar a cabo la tarea de movilizar los recursos tecnológico-industriales y científicos del país para la guerra y, como ya apunté para el caso de la Marina al comienzo de este capítulo, las Fuerzas Armadas no se habían dado cuenta del potencial militar de la ciencia (en los pocos casos en que sí se habían dado cuenta, sabían que el Estado no disponía de recursos —esto es, instituciones— en este dominio). Unas semanas después de la declaración de Edison, el presidente Woodrow Wilson autorizaba a los militares a seguir una política de «prepararse no para la guerra, sino solamente para la defensa». El 7 de julio, el secretario de Estado para la Armada, Josephus Daniels, escribía a Edison que «una de las necesidades imperativas de la Armada... es maquinaria y facilidades para utilizar el genio natural de los americanos para la inventiva con el fin de enfrentarse a las nuevas condiciones en que se desarrolla la guerra, tal y como se ha demostrado en el extranjero». Inspirado obviamente en las iniciativas británicas, Daniels deseaba establecer un «departamento de invención y desarrollo, al que se dirijan todas las ideas y sugerencias, ya sea de militares o de inventores civiles, para determinar si contienen alguna sugerencia práctica que podamos tomar y perfeccionar».[28] La propuesta no podía ajustarse más al espíritu de Edison, que aceptó dirigir tal departamento: la Naval Consulting Board (Junta Asesora Naval; NCB), de la que formaron parte, entre otros, Willis R. Whitney, de General Electric, Leo H. Baekeland, el inventor de la baquelita, Frank J. Sprague, famoso por haberse ocupado de los tranvías eléctricos, y Elmer Sperry, que tenía su propia empresa, Sperry Gyroscope. Sólo dos científicos, Robert S. Woodward

y Arthur G. Webster, representantes de la American Mathematical Society, formaron parte de esta Junta. Parece extraño no encontrarse con más científicos, pero, en realidad, la composición de la NCB reflejaba la idiosincrasia edisoniana (y el espíritu de la propuesta de Daniels): la ciencia ocupaba un lugar muy secundario frente a la tecnología; la investigación científica no se consideraba tan importante como la producción industrial. Así, cuando la NCB logró que se estableciese un centro de investigación antisubmarina en Nahant, Massachusetts, los encargados de llevar a cabo los trabajos fueron la Submarine Signal Company, General Electric y Western Electric. Robert Millikan, que por entonces ya había decidido dejar temporalmente a un lado sus ocupaciones más académicas y dedicarse por completo a servir a su patria en lo que a la organización de la ciencia para la defensa y la guerra se refiere, intentó que varios físicos universitarios participasen en las tareas de Nahant. Sin embargo, su petición fue rechazada: «El 10 de mayo», recordaría después Millikan, «el almirante Griffin me informó... de que se había decidido que la presencia de los académicos que yo quería que se incorporasen al grupo habría complicado aún más las dificultades de las situaciones comerciales y de patentes, que ya eran de por sí muy complicadas, y que la parte académica del plan había sido omitida».[29] Las peculiaridades —ya bastante arraigadas— del sistema científico-tecnológico norteamericano se manifestaban también en momentos tan delicados como los que se estaban viviendo.

El estilo de la Naval Consulting Board no era, por tanto, algo que los científicos viesen con buenos ojos. George Ellery Hale, el astrónomo, director del Observatorio de Monte Wilson, editor del *Astrophysical Journal*, que organizó junto a Arthur Noyes y Millikan el California Institute of Technology, y secretario, además, de asuntos extranjeros de la National Academy of Sciences, fue quien primero reaccionó ante la dirección que tomaba aquella Junta, que por otra parte no se había interesado en

establecer ningún tipo de relación con la Academia.[30] El 10 de junio de 1915 (esto es, antes de que se hubiese dado el primer paso que culminaría en la creación de la NCB), Hale preparaba un borrador de carta para William H. Welch, presidente de la Academia y profesor de Medicina en la Universidad Johns Hopkins, en la que se aprecian perfectamente sus ideas. Es evidente por el contenido de este documento que Hale ya sabía, o sospechaba, que se iban a producir movimientos como el que llevó al establecimiento de la NCB, y que entre los propósitos que le guiaban figuraba el deseo de que la National Academy of Sciences se convirtiese en la primera y más importante institución de apoyo al Gobierno Federal en asuntos científicos. Veamos la carta de Hale:[31]

> Querido doctor Welch:
>
> En el acta del Congreso por la que se creaba la National Academy of Sciences se mencionaba «que siempre que se lo solicitase algún departamento del gobierno, la Academia investigará, examinará, experimentará e informará sobre cualquier tema científico o artístico». De acuerdo con esta disposición, la Academia ha asistido al gobierno en la resolución de un gran número de problemas. Muchos de estos problemas estuvieron relacionados con la Guerra Civil, cuando se prepararon informes relativos a la protección de los fondos de los barcos de hierro y a la desviación magnética [de las brújulas] en ellos, cartas de vientos y corrientes, direcciones de navegación, la explosión del buque de vapor *Chenango* y otras cuestiones.
>
> Ahora nos estamos enfrentando a la posibilidad de otra guerra, en la que los métodos de la ciencia serán utilizados de la manera más efectiva por Alemania, una nación que ha alcanzado su posición actual en el mundo principalmente mediante la inteligente aplicación de principios científicos a sus industrias. Ninguna nación, no importa lo rica que sea en dinero, hombres y recursos naturales, puede competir con Alemania con éxito, en la paz o en la guerra, sin adoptar procedimientos similares.
>
> Aquí se encuentra la gran oportunidad de Estados Unidos. Nuestros científicos y nuestros inventores son más originales y tienen más recursos que los alemanes, que han logrado sus fines en gran parte mediante la inteligente y laboriosa elaboración de

ideas tomadas prestadas de otros países. Los conocidos casos de la industria de los tintes de anilina, que surgió del descubrimiento de la malva por Sir William Perkin, y la manufactura de maquinaria, derivada en gran parte de modelos americanos, bastan para ilustrar este punto.

Bajo estas circunstancias, creo que la National Academy debería ofrecer sus servicios al presidente, y dedicar sus mejores energías a una tarea que exigirá grandes sacrificios del pueblo americano. Ninguna injusticia sería mayor que enviar al frente a hombres preparados inadecuadamente y que no estuviesen suficientemente provistos de todos los instrumentos posibles para el ataque y la defensa. Sin duda que evitaremos utilizar gases venenosos, pero debemos equipar a nuestros soldados con protección adecuada contra ellos. La detección a distancia de submarinos sumergidos y la protección de barcos frente a ataques de torpedos son cuestiones vitales a las que se debe prestar toda la atención. He oído de un instrumento que parece ser muy prometedor para este último propósito, y soy de la opinión que se pueden desarrollar medios para hacer que los torpedos exploten antes de alcanzar a un navío.

Éstos son simplemente ejemplos típicos de las muchas cuestiones que se producirían en una guerra. Resolver una sola de ellas puede significar salvar miles de vidas y acortar la duración de la guerra. Ninguna persona en su sano juicio y bien informada cometería el error de subestimar el poderío de Alemania, tan evidente ahora con sus exitosos ataques a Rusia. Es más fácil organizar a los mejores cerebros del país que formar enormes ejércitos, y la efectividad de nuestra fuerza de lucha puede ser multiplicada mucho mediante el trabajo de hombres que físicamente pueden no ser adecuados para las trincheras.

Cuando pensamos en miembros de la National Academy como Flexner, Theobald Smith y otros de la misma profesión que usted, Sr. Presidente, que podrían hacer tanto en los campos de la medicina y cirugía; en Elihu Thomson, Graham Bell y Pupin, cuyos inventos han revolucionado la ingeniería eléctrica y hecho posible la telefonía de larga distancia; y en nuestra larga lista de físicos, químicos, fisiólogos y hombres de ideas y de acción en otros departamentos, se hace evidente que la Academia podría hacer mucho. Pero en mi opinión debería invitarse también a participar en sus comités a los hombres más hábiles que se hallan fuera de sus filas, concentrando de esta manera en un solo foco el mejor pensamiento de la nación.

El gobierno tiene muchas agencias, tanto civiles como

militares, de las que obtener consejos. Pero la Academia podría complementar tales recomendaciones de una manera muy eficaz organizando a los mejores pensadores fuera del servicio gubernamental, dirigiendo su atención a los problemas suscitados por la guerra y comunicando sus sugerencias de vez en cuando al presidente.

Yo recomendaría, por consiguiente, que si el Consejo lo aprueba, vea usted al presidente y le ofrezca nuestros servicios. No dudo que muchos dedicarán voluntariamente una parte o, en algunos casos, todo su tiempo al trabajo. En cuanto a mí, puedo decir que estaría encantado actuando en la forma que se desee, y que daría tanto tiempo como me lo permitiesen mis obligaciones para con la Carnegie Institution.

Sugeriría que sería aconsejable la acción inmediata por parte del Consejo en el momento en que la guerra se haga inevitable. Otras organizaciones pueden planear realizar ofertas semejantes al presidente, pero los términos de nuestra constitución y la posibilidad de asegurar la cooperación de los mejores hombres todavía no comprometidos deberían hacer que la National Academy sea la primera en este campo.

El 3 de julio, Hale enviaba a Welch una versión revisada de esta carta. Diez días más tarde, ante el cariz que tomaban los acontecimientos y, sobre todo, comprobada la aparición en escena de Edison, el astrofísico de California enviaba un telegrama en el que señalaba al presidente de la Academia que «era obligado ofrecer los servicios [de la Academia] al presidente ante la posibilidad de una guerra con México o con Alemania. He concluido que para desbaratar cualquier posible crítica y asegurarnos el éxito deberíamos concentrar nuestra atención en medicina y cirugía, pero incluyendo en el comité a representantes de otras disciplinas. El anuncio realizado por Daniels hoy con respecto a Edison confirma esto».[32]

Sin embargo, nada ocurrió hasta abril del año siguiente (1916), cuando Hale volvió a la carga: en una sesión de la Academia logró que se aprobase la moción de que se ofreciesen los recursos de la Academia a Wilson «en el caso de una ruptura de relaciones diplomáticas con cualquier otro país». Una semana después, Welch encabezaba una delegación a la Casa Blanca, de la que formaba parte Hale,

para exponer al presidente la importancia que la investigación científica iba a tener en los acontecimientos que ya se veían como inevitables, y para ofrecer los servicios de la Academia en la organización de la ciencia en apoyo al esfuerzo bélico. Tras unas pocas preguntas, Wilson aprobó la iniciativa y pidió a la Academia que formase un comité, aunque solicitando confidencialidad en vista de lo delicado en aquel momento de las relaciones germano-americanas (todavía se mantenía la esperanza de no involucrarse en la guerra europea).

En junio de 1916, la National Academy of Sciences respondía a la petición de Wilson formando un National Research Council (NRC; Consejo Nacional de Investigación), con el objetivo de promover la investigación pura y aplicada, especialmente en lo que se refería a la seguridad nacional. El nuevo Consejo comenzó a organizarse en el otoño, con Hale de director, estableciendo comités de: química, matemáticas, astronomía, física, geología y paleontología, geografía, botánica, zoología y morfología animal, fisiología, medicina, higiene, agricultura, psicología y antropología. Esta lista denota que lo que realmente se pretendía iba más allá de crear una agencia de apoyo al gobierno para asuntos militares; se deseaba establecer un organismo que sirviese al gobierno permanentemente para establecer la política científica que se debía seguir; algo no muy diferente al papel que con frecuencia desempeñaba en Gran Bretaña la Royal Society.

Sin embargo, no se hizo mucho hasta febrero de 1917, cuando las relaciones con Alemania empeoraron; de hecho, fue entonces cuando el Council of National Defense (Consejo de Defensa Nacional) pidió al NRC que actuase como su departamento de investigación, lo que reforzó la posición del Consejo. Hale abandonó entonces sus otras ocupaciones y se trasladó a Washington, al igual que Millikan, que dirigía el comité de física y que pronto se vio inundado por asuntos relacionados con la guerra submarina. A pesar de tener ya una ocupación dentro del NRC, Millikan se vio empujado por su colega de California,

Hale, hacia posiciones más prominentes dentro de la estructura del Consejo, siendo nombrado «vicedirector y oficial ejecutivo», así como «director de investigación de ciencias físicas». Desde este influyente puesto, Millikan hizo del NRC, especialmente una vez declarada la guerra a Alemania, una institución diferente a la que deseaba Hale: una agencia en donde todo se subordinaba a la guerra.[33]

Ya hemos tenido ocasión de comprobar en diferentes ocasiones que un rasgo característico de la ciencia estadounidense era la intervención del sector privado, a través de la industria o de fundaciones. Incluso en tiempo de guerra, en una organización como el NRC, dependiente de la National Academy of Sciences, creada en cierto modo a instancias del presidente, y que pretendía servir a la nación, en el sentido más amplio posible, se manifiesta ese rasgo. Cuando se estableció el NRC, el Gobierno Federal no estaba acostumbrado a asignar dinero a instituciones científicas, y por consiguiente su financiación constituía un problema: no existía ningún mecanismo para transferir grandes cantidades de dinero de las Fuerzas Armadas a manos civiles. El sector privado antes mencionado vino al rescate: en el otoño de 1916, la Engineering Foundation (Fundación de Ingeniería) proporcionó una pequeña pero significativa ayuda. La Carnegie Corporation apareció después; primero con 50.000 dólares, a los que siguieron 100.000 en mayo de 1918. Por su parte la Fundación Rockefeller suministró 50.000 para la división de medicina y ciencias afines. Para que nos hagamos una idea de lo que significaban estas cantidades comparadas con las provenientes del erario público, basta con mencionar que dinero procedente del Council of National Defense no comenzó a llegar al NRC hasta enero de 1918, cuando el presidente Wilson aprobó una ayuda de 29.250 dólares. En total, por este conducto el Consejo recibió durante el transcurso de la guerra 128.650 dólares, algo menos de lo que llegó de instituciones privadas.

Pasando ahora a la labor llevada a cabo por el NRC durante la guerra, hay que señalar en primer lugar que

terminó siendo, en palabras de Hunter Dupree, «una agencia de investigación central en un grado que nunca había soñado la National Academy».[34] Intervino en la mayoría de los principales proyectos de investigación desarrollados durante la guerra, pero nunca llegó a tener una estructura administrativa adecuada para sus necesidades. La falta de una tradición y normativa en las relaciones entre las Fuerzas Armadas y el sector civil limitó además las posibilidades del Council, que con frecuencia veía cómo proyectos iniciados por él pasaban a depender de la Armada o del Ejército de Tierra. Como es natural en tiempos en que se configuran nuevos procedimientos —y la Primera Guerra Mundial fue uno de esos tiempos en lo que se refiere a la relación ciencia-fuerzas armadas—, la historia del NRC durante los veinte meses de lucha constituye un episodio en el que la confusión aparece con frecuencia. Se daban conflictos de competencias entre el NRC y la NCB, el National Advisory Committee for Aeronautics (el Comité Nacional Asesor para Aeronáutica), el National Bureau of Standards y sociedades profesionales de ingenieros. Al ir extendiéndose entre los militares la creencia en la importancia de la investigación científica para su misión, fue disminuyendo la capacidad del NRC para iniciar proyectos.

A pesar de todas estas dificultades, no hay duda de que la experiencia ganada en la guerra fue positiva para el NRC, que en noviembre de 1918 podía presumir de un historial de proyectos bastante completo. La guerra dio a los líderes del NRC práctica en manejar programas amplios y ambiciosos, lo que a su vez resultó decisivo para que las grandes fundaciones, en particular la Rockefeller y la Carnegie, modificasen la política de apoyo a la ciencia que habían mantenido hasta entonces y que se había caracterizado sobre todo por proporcionar ayudas a científicos que se lo mereciesen. Cuando se aproximaba el final de la guerra y algunos ya preveían la atmósfera de reconstrucción que caracterizaría a la posguerra, reconstrucción en la que la ciencia habría de desempeñar

un papel importante, surgieron otras ideas más ambiciosas y que miraban hacia el futuro: por ejemplo, colaborar en la formación de nuevas generaciones de investigadores. El NRC podía ser un excelente vehículo para llevar adelante tal programa en tanto que agencia experimentada y dependiente de una institución como la National Academy of Sciences, de la que cabía esperar una independencia de juicio mayor que otros organismos.[35]

En febrero de 1918, George Vincent, presidente de la Fundación Rockefeller, se dirigía a cinco científicos, dos químicos (Alexander Smith y Julius Stieglitz) y tres físicos (Albert Michelson, John Zeleny y Robert Millikan) para explorar qué ideas tenían acerca de cómo podría apoyar la fundación que dirigía el progreso de la física y la química. (Hasta entonces la principal actividad de la Fundación en Estados Unidos en apoyo de la ciencia era —recordemos lo dicho en el capítulo 2— a través de su Medical Institute, creado en 1902, antes, por consiguiente, que se fundase la propia Fundación, que data de 1913.)[36] Veamos el contenido de la carta dirigida el día 18 a Millikan, viejo amigo de Vincent de los tiempos en que ambos se encontraban en la Universidad de Chicago:[37]

> Mi querido Mr. Millikan:
>
> Se ha sugerido a la Fundación Rockefeller que debería establecerse y dotarse una institución de investigación que se ocupase de la física y la química. Se urge este proyecto en base a los siguientes argumentos:
>
> 1) La competición industrial que seguirá a la guerra someterá a prueba los recursos científicos de la nación. Es bien conocida la eficiencia científica alemana; se dice que Japón está planeando un instituto nacional de física y química. La guerra ha estimulado a los científicos británicos y franceses.
> 2) No hay duda de que grandes establecimientos industriales aumentarán sus actividades investigadoras. Es cierto, sin embargo, que la investigación práctica que busca retornos inmediatos tiende con el tiempo a derrotarse a sí misma.
> 3) Por consiguiente, para que América alcance el liderazgo en el progreso de las ciencias físicas se necesita una institución dedicada a la investigación pura, que no se vea

> obstaculizada por obligaciones docentes y que no esté influida por consideraciones comerciales.
>
> ¿Podría usted darnos su opinión acerca de esta propuesta? ¿Cree usted que la situación exige o justifica la creación de un nuevo centro de investigación de este tipo? ¿Existe algún otro instrumento mediante el cual se podrían organizar mejor para el servicio nacional al personal científico y a los recursos de la nación? ¿Es probable que el National Research Council, que ha sido creado debido al estallido de la guerra, tome una forma permanente? ¿Está el Gobierno Federal en situación de crear una institución separada semejante a ciertas unidades de investigación del Department of Agriculture y del Geological Survey? ¿Es el Bureau of Standards capaz de ampliarse y convertirse en una institución de investigación nacional?

En el punto aparentemente principal, el establecimiento de algún tipo de instituto, las respuestas de los cinco expertos consultados no mostraban unanimidad, lo que a la postre sirvió muy bien a las propias ideas de Vincent, que no creía que ése fuese el mejor camino que se pudiera seguir. Durante los siguientes meses tuvieron lugar consultas y negociaciones que condujeron finalmente al establecimiento en 1919 por parte de la Fundación Rockefeller de un programa de becas posdoctorales (que no se limitaría a la física y a la química) cuya dirección se encomendó al NCR.[38] La experiencia administrativa del NRC fue esencial para que se le asignase esta tarea, incluso para que se llegase a diseñar tal programa, pero a su vez esa nueva función sirvió para reforzarlo y asegurar su pervivencia después de la guerra (el apoyo económico de la Carnegie Corporation también fue esencial). Entre 1916 y 1940 el NRC recibió de fundaciones cerca de 12 millones de dólares, la mayor parte (alrededor del 98 por 100) de la Fundación Rockefeller y de la Carnegie Corporation. Esta última suministró 2.884.000 dólares, que fueron a parar a las diferentes divisiones mantenidas por el NRC. En cuanto a la Fundación Rockefeller proporcionó 4.353.000 dólares para el programa general de becas posdoctorales, 499.000 para pequeñas ayudas, 870.000 para publicaciones,

1.770.000 para el comité de investigación, 320.000 para asuntos generales y 399.000 para asuntos varios. En total más de 8 millones de dólares. Para hacernos una idea de cómo se distribuyó, en el programa de becas posdoctorales, la ayuda de la Fundación para las diferentes ciencias, tenemos que entre 1919 y 1928 a la física y la química se destinaron 834.000 dólares, a la medicina 1.556.000 y 320.000 a la biología (las ciencias biomédicas habían sido favorecidas por la Fundación desde el principio; sólo entre 1915 y 1922, el Rockefeller Medical Institute recibió más de 10 millones de dólares).[39]

La química y la guerra

Con frecuencia la Primera Guerra Mundial ha sido denominada «la guerra de la química». Tal vez sea un nombre exagerado —al fin y al cabo casi todas las denominaciones suelen serlo—, pero no hay duda de que contiene un elemento de verdad. La química, más desarrollada por entonces en su dimensión industrial que la física (con la posible excepción de la electricidad), mostró con claridad durante aquellos años su valor para el abastecimiento de áreas vitales de las naciones beligerantes, que constantemente solicitaban su ayuda.[40] Por otro lado, desempeñó un papel mucho más evidente y llamativo en el campo de batalla que las disciplinas de las que me he ocupado hasta el momento (me estoy refiriendo, naturalmente, a la utilización de gases tóxicos).

En ambos casos fue en Alemania, que mantenía su liderazgo mundial en química orgánica desde alrededor de 1860, donde mejor y más pronto se observaron las utilidades de la química. Ahora bien, también en este campo la Gran Guerra significó el inicio de una redistribución de poderío (capacidad científica e industrial) a escala mundial. Es cierto que muchas industrias químicas germanas se beneficiaron del gran número de encargos que recibían del Reich, ya fuesen para municiones, gases venenosos o tintes para uniformes, e incluso, cuando los

pedidos eran urgentes, del auxilio —forzado, naturalmente — de prisioneros de guerra, pero no es menos cierto que la interrupción de relaciones comerciales con los aliados o, cuando el bloqueo comenzó a sentirse, con otras naciones neutrales, constituyó una pesada carga para esa industria. Para darnos cuenta de cuán pesada era esa carga, tengamos en cuenta que antes de que comenzase la guerra, Alemania, que dominaba el mercado mundial tanto en producción como en conocimientos (en 1907 en la Oficina de Patentes de Berlín estaban registradas 285 patentes alemanas por 14 de sus rivales más cercanos, Gran Bretaña y Suiza), exportaba entre el 75 y el 85 por 100 de la producción de tintes.[41] Y las perspectivas de futuro podían ser peores, ya que si las naciones enemigas desarrollaban sus técnicas e industrias lo suficientemente durante la guerra, la contracción del mercado sería permanente.

Una buena muestra de la situación en la que se encontraban los aliados es lo que —refiriéndose sobre todo a Gran Bretaña y a unos casos concretos— escribió el estadounidense Williams Haynes en un antiguo y conocido libro, *The Chemical Front*:[42]

> La Primera Guerra Mundial nos encontró lamentablemente desprovistos en lo relativo al frente químico, pues no teníamos en aquel entonces medio alguno de proveer a nuestras imperativas exigencias de productos del alquitrán. Además, todas las demandas de productos químicos fueron muy superiores a lo calculado hasta por el sagaz Estado Mayor alemán, y nos vimos escasos de muchos productos químicos corrientes, porque la existencia de materias primas, o los métodos químicos usuales empleados, o los equipos de las fábricas disponibles, resultaron insuficientes. La acetona fue uno de los productos cuya escasez resultó más crítica. El ejército y la Marina de Inglaterra necesitaban 50.000.000 de libras de ese producto como disolvente para la cordita,[43] y tal cantidad de acetona era tres veces mayor que la producida en todo el mundo. Necesitarla no quería decir que fuera posible tenerla. La Marina inglesa había perdido tres buenos barcos porque sus granadas disparadas para alcanzar una distancia de 5.000 yardas caían inofensivamente en el agua del mar a mitad de distancia de los acorazados del almirante von Spee. Los

disolventes sustitutivos que se trató de utilizar en la producción de la cordita fallaron en las pruebas definitivas. El ejército de Flandes se mantenía en las trincheras por puro valor personal y temple de acero. La escasez de municiones era verdaderamente desesperante.

Los ingleses andaban frenéticamente a la búsqueda de cualquier gota que pudiera haber de ácido acético, fundamento químico de la acetona. Pusiéronse obstinadamente a la tarea de fabricar ese ácido incoloro de olor avinagrado por procedimientos ya desechados y por otros no empleados todavía. Y de tales esfuerzos gigantescos surgieron dos nuevas industrias químicas en tiempos de paz.

Obligados por las circunstancias, los aliados, efectivamente, no tuvieron más remedio que crear —o mejorar radicalmente— sus respectivas industrias químicas, una lección que, además, no olvidaron cuando llegó la paz. En 1919, Francia producía el 70 por 100 de sus necesidades de tintes, cuando en 1913 su producción solamente alcanzaba el 20 por 100. Estados Unidos invirtió 446 millones de dólares en mejorar la situación de su industria de colorantes, convirtiéndose en un breve período de tiempo en uno de los principales productores mundiales. La producción británica aumentó siete veces (once en productos intermedios de tintes). En general, si antes de 1914 era conveniente para todo estudiante o joven investigador en química con aspiraciones trasladarse durante cierto tiempo a Alemania, a partir de la década de 1920 esta necesidad comenzó a diluirse considerablemente aunque persistiera hasta los años treinta. Después de 1918, Alemania tuvo que competir duramente con Suiza, Gran Bretaña y Estados Unidos. I. G. Farben, que convertido en *trust* en la década de 1920 dominaba la mayor parte de la industria química alemana,[44] mantuvo una parte importante del mercado mundial, pero encontraba poderosos competidores, especialmente la británica Imperial Chemical Industries, Ltd., organizada en la década de los veinte a partir de, básicamente, United Alkali Co., Brunner, Mond, British Dyestuffs Corp. y Nobel.

La industria química estadounidense fue una de las que

más se benefició de la situación europea, comenzando a despegar durante la guerra. Las demandas del mercado interior, junto a la pérdida de importaciones de productos químicos cruciales, aumentaron la producción nacional a niveles sin precedentes, especialmente en tintes y, en mucha menor medida, abonos.[45] De Europa llegaban también pedidos en cantidades cada vez mayores. Se reclamaba, por ejemplo, fenol, que hasta entonces sólo se había producido en Norteamérica extrayéndolo como subproducto de algunas plantas; ahora hubo que comenzar a sintetizarlo del benceno. Cuando los mercados militares decayeron una vez finalizada la guerra, el Gobierno Federal prestó su ayuda a las nuevas áreas de diversas maneras: por ejemplo, liberando (en 1919) las patentes tomadas a los alemanes o imponiendo (en 1922) aranceles muy altos a las importaciones.

Para apreciar de forma más concreta los efectos producidos por la guerra en la industria química estadounidense, y al mismo tiempo en la mundial, veamos, por ejemplo, el caso de Du Pont, una compañía que por entonces contaba con más de un siglo de existencia.[46]

En 1914 Du Pont, entonces dedicada fundamentalmente a la producción de explosivos, estaba dispuesta a reducir su producción de pólvora sin humo ante un mercado que constantemente disminuía. La guerra, sin embargo, trajo consigo un aumento espectacular de los negocios: de vender en 1914 por el equivalente a 25 millones de dólares, lo que representaba una ganancia de 5,6 millones, se pasó en 1915 a 131 (ventas) y 57 (ganancias netas) millones. Pero la guerra no sólo significó un aumento de negocios en uno de los campos de interés de la compañía, también la obligó a replantearse cuáles debían ser esos campos, y si debía diversificar sus intereses o no. Hasta 1914, Alemania dominaba completamente los mercados estadounidenses de tintes, productos farmacéuticos y orgánicos. El bloqueo británico detuvo las importaciones, y entre los productos que no llegaban se encontraba la difenilamina, que era a su vez un

estabilizador de la pólvora que Du Pont estaba vendiendo a Europa, además de ser un importante elemento intermedio en la producción de tintes. Para continuar sus ventas de pólvora la compañía tuvo, por consiguiente, que convertirse en el mayor productor de difenilamina de Estados Unidos, así como de otros compuestos orgánicos relacionados. Pero esto produjo una cierta paradoja porque, a pesar de ser el mayor productor de esa sustancia, no contribuía a aliviar la crisis, impuesta asimismo por la guerra, de los tintes. La respuesta fue comenzar a producir colorantes, una actividad que a su vez la obligó a ampliar sustancialmente su programa de investigación, lección que no olvidaría cuando llegó el armisticio. En definitiva, el Du Pont de 1918 era una firma diferente de la de 1914: había diversificado su producción y conocía el valor que tenía realmente la investigación. Había sentado, en suma, los pilares sobre los que basaría su prosperidad en el futuro.

En la medida en que el caso de Du Pont es representativo, tenemos con este ejemplo una muestra de la diferencia existente entre el efecto producido por la Primera Guerra Mundial en la institucionalización de la química y la física. Como hemos visto, la Primera Guerra Mundial sirvió de diversas maneras a la física. En primer lugar, para que políticos y militares viesen de manera más clara —cuando no por primera vez— la importancia que esta disciplina tenía, en especial pero no únicamente en el ámbito militar (el valor de la electricidad era, por supuesto, apreciado, pero era considerada —y razones existían, desde luego— más como una rama de la tecnología que de la física; una disciplina de ingenieros y no de físicos). En segundo lugar, para intensificar, o ampliar, su institucionalización, ocupando un lugar preferente en muchas de las agencias y departamentos que se crearon durante la contienda, algunos de los cuales sobrevivieron a las particulares condiciones reinantes entre 1914 y 1918. Y por último, para iniciar programas de investigación que reforzarían a la propia física, tanto desde el punto de vista de la profesión como desde el del contenido propiamente científico de la

disciplina.

En la química la guerra no produjo exactamente los mismos efectos. Ciertamente, sí sirvió, como en el caso de la física, para que los militares apreciaran más esta ciencia, y también reforzó la posición de algunas instituciones de investigación en química, como algunos Institutos de Química Káiser Guillermo, pero sus efectos en la industria y, a través de ésta, en la sociedad, fueron de un tipo esencialmente diferente a los que se dieron en física, tanto en intensidad como en naturaleza: diversificación,[47] variación del mapa industrial mundial, desarrollos muy fructíferos para la economía. Por decirlo de alguna manera, a partir de 1918 una parte muy importante de la industria química mundial tuvo que replantearse sus intereses y tácticas mucho, muchísimo más, que la relativamente estática industria relacionada con la física.

La sociedad, el público, también tomó conciencia de la química en una medida que no se dio con la física, que debió esperar a la Segunda Guerra Mundial. Un comentarista coetáneo expresó bastante bien los nuevos sentimientos:[48] «Una conciencia química nacida en la guerra cambió la actitud del público hacia su industria, de indiferencia o sospecha a una apreciación patriótica, bastante exagerada. La industria química, considerada de antiguo una especie de farmacia glorificada, o bien como la productora de sustitutos baratos y desagradables, se convirtió de repente en la creadora de nuevos valores. Productores en otros campos se despojaron de viejos prejuicios en contra de los productos y procesos químicos».

Una muestra magnífica del valor social, además de económico, que la química evidenció entre 1914-1918 (y posteriormente también, por supuesto) se encuentra en los abonos sintéticos, junto a los gases venenosos, el ejemplo más llamativo de la química durante la Primera Guerra Mundial. En lo que resta del presente capítulo me ocuparé de estos dos casos, comenzando por el de los abonos artificiales.

A pesar de su posición dominante en la producción de muchos productos químicos, cabía esperar, como he comentado antes, que la inevitable reducción o interrupción de comunicaciones con otros países pudiera perjudicar en algún dominio a Alemania. Uno de esos dominios, de gran importancia, fue el de la importación de abonos.

Los vegetales necesitan grandes cantidades de nitrógeno, que es su principal materia nutritiva. Pero aunque el aire contiene cantidades de N_2 en principio ilimitadas, no puede ser directamente aprovechado por las plantas, obteniéndolo solamente aquellos vegetales (principalmente leguminosas) que conviven simbióticamente con ciertas bacterias capaces de convertir el nitrógeno atmosférico en amoníaco (NH_3).[49] Obviamente, en agricultura se necesita recurrir a abonos nitrogenados, más aún cuando se busca aumentar el número de cosechas anuales.

Que la futura disponibilidad de abonos constituía un problema es algo que se hizo evidente especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XIX (ya en 1840, por ejemplo, el francés Henri Victor Regnault había estudiado la reacción de la síntesis del amoníaco). Una muestra extraordinariamente lúcida de la situación existente y la que inevitablemente se daría en el futuro, en un mundo en el que crecía el consumo y la población mundial, es el contenido de la conferencia inaugural que William Crookes pronunció como presidente del 68 Congreso de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, reunida en Bristol en septiembre de 1898. En aquella ocasión, Crookes se dedicó inicialmente a analizar la importancia del trigo para la alimentación y el crecimiento mundial de su consumo. «Tan importante es la cuestión del suministro de trigo», manifestaba, «que ha atraído la atención del Parlamento... Es seguro que en caso de guerra contra cualquiera de las Grandes Potencias, el trigo sería objeto de contrabando, como si fuese cañones o pólvora, susceptible

de ser capturado incluso bajo una bandera neutral.[50] Debemos, por consiguiente, aceptar la situación y tratar al trigo como munición de guerra, y crecerlo, acumularlo o almacenarlo como tal.»[51] Más adelante señalaba que «se sabe ahora que todas las cosechas requieren de lo que se denomina un fertilizante "dominante". Algunas necesitan nitrógeno, otras potasio, otras fosfatos. El trigo demanda sobre todo nitrógeno, fijado en la forma de amoníaco o ácido nítrico. Los restantes constituyentes se hallan en el suelo, pero el nitrógeno es principalmente de origen atmosférico, y se "fija" mediante un lento y precario proceso que requiere de la combinación de unas raras condiciones geográficas y meteorológicas para que avancen a un ritmo lo suficientemente rápido como para llegar a tener importancia comercial».[52] Finalmente, llegaba al punto en el que aparecía la ciencia:[53] «Durante los últimos años se han realizado varios intentos de fijar el nitrógeno atmosférico, y algunos procesos han tenido un éxito parcial, pero no creo equivocarme si digo que ningún proceso ha sido presentado ante los científicos o comerciantes que se pueda considerar práctico desde los puntos de vista del coste y de la cantidad del producto... La fijación del nitrógeno atmosférico es, por consiguiente, uno de los grandes descubrimientos que aguardan a la ingenuidad de los químicos. Es, ciertamente, muy importante en lo relativo a sus consecuencias prácticas para el bienestar y felicidad futuras de las razas civilizadas de la humanidad».

En resumen, cualquier químico medianamente informado sabía desde, al menos, finales del siglo XIX de la importancia del problema de la fijación (a través de, preferentemente, el amoníaco) del nitrógeno atmosférico.

Coherentemente con lo señalado por Crookes en 1898, tenemos que en 1913, Alemania —cuya población había crecido de 25 millones en 1800 a 55 en 1900— consumía 200.000 toneladas de nitrógeno al año, de las que 110.000 eran importadas en forma de nitrato procedente de Chile, sobre todo, aunque también de Perú y Bolivia (la mayor parte de esa cantidad se empleaba en la agricultura para

cosechas intensivas).[54] Entre mayo de 1921 y abril de 1922, con una extensión geográfica menor que en 1913, utilizó 290.000 toneladas, y toda esa cantidad fue producida dentro de su territorio. ¿Cómo fue posible?

La combinación directa de nitrógeno e hidrógeno para formar amoníaco fue una de las cuestiones que los químicos germanos consideraron con vigor desde comienzos del siglo XX. Uno de los que se interesó por el problema fue Wilhelm Ostwald (1853-1932), junto a Svante Arrhenius (1859-1927) y Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911), uno de los fundadores de la químico-física.[55] En este sentido, el 12 de marzo de 1900 Ostwald escribía a la dirección de BASF que había «descubierto un método para combinar nitrógeno libre (esto es, tomado del aire) con gas de hidrógeno para producir amoníaco. El material y costes son tan bajos que el precio del amoníaco sintético sería una pequeña fracción del precio presente del nitrógeno del que se puede disponer ahora».[56] Y añadía: «El método ha sido probado en el laboratorio... No necesito explicar lo que esta síntesis representa para la agricultura... Además, es fácil obtener ácido nítrico a partir del amoníaco utilizando oxígeno atmosférico. Estaría encantado de recibir cualquier sugerencia en caso de que deseen contactar con nosotros acerca de las condiciones técnicas y las estimaciones económicas del descubrimiento».

El mismo año, Ostwald solicitó una patente para producir amoníaco y compuestos amoniacados conseguidos a partir del nitrógeno e hidrógeno atmosféricos, que contenía los detalles esenciales de la síntesis en gran escala que se llevaría a cabo más adelante: temperatura elevada, presión alta, un catalizador (para el hierro o cobre) y recirculación de los gases. En su autobiografía (1926), Ostwald señaló:[57]

> Como el experto reconoce inmediatamente, las ideas básicas sobre la síntesis del amoníaco, que ha llegado a ser tan importante, fueron presentadas claramente y sin ambigüedad entonces [marzo de 1900]. Por consiguiente, tengo derecho a considerarme el padre intelectual de esta industria.

> Ciertamente, no he llegado a ser su padre real, ya que todo el difícil y variado trabajo necesario para crear una industria técnica y económicamente viable a partir de las ideas correctas fue llevado a cabo por otros que se ocuparon del niño abandonado.

Por qué Ostwald abandonó a ese «niño», que tanto prometía, se debe a que cuando, después de registrar su patente, Ostwald negoció con BASF (la, recordemos, Badische Anilin-und Soda-Fabrik), ésta encontró, al repetir sus experimentos, que las pequeñas cantidades que se formaban de nitrógeno procedían del nitrógeno presente en el hierro del que se disponía comercialmente, y que había intervenido en la prueba. Una vez que confirmó en su propio laboratorio estos resultados, Ostwald renunció a su solicitud de patente y a los contratos que ya había firmado, abandonando también esta investigación, a la que, sin embargo, había contribuido.

Fue Fritz Haber (1868-1934) quien logró lo que Ostwald creyó haber conseguido. Ahora bien, para ello se benefició de los trabajos de otros científicos germanos, como los estudios que realizó sobre los principios termodinámicos otro de los grandes químico-físicos, Walther Nernst (1864-1941), que había sido discípulo de Ostwald en Leipzig. Especialmente importante para Haber fue el teorema, o tercera ley de la termodinámica, que Nernst presentó en 1905 y que suministraba los medios para calcular los valores de calores específicos. Con ello se podía predecir la probabilidad de una reacción química, viendo si los valores de la entropía y de los calores específicos tendían a cero a muy bajas temperaturas. Con este instrumento, Haber pudo estudiar la reacción $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2\ NH_3$, que al final le permitió fijar el nitrógeno del aire.

La culminación de los trabajos de Haber, entonces profesor de Electroquímica en Karlsruhe, se produjo en 1908, ayudado por Robert le Rossignol, un inglés que había trabajado con William Ramsey en el estudio del amoníaco antes de instalarse en Karlsruhe. Fue entonces cuando logró

sintetizar amoníaco utilizando osmio y uranio como catalizadores, y empleando presiones muy altas y temperaturas moderadas.[58] El 2 de julio de 1909 realizó una demostración del proceso a Carl Bosch (1874-1940) y Alwin Mittasch de la BASF, en la que se obtuvieron unos cientos de gramos de amoníaco líquido. Cuatro años más tarde, y después de que Haber hubiese vendido el proceso a la compañía, Bosch lograba superar todos los obstáculos que existían en el proceso inicial o que fueron apareciendo para convertir un procedimiento que era esencialmente académico en uno con el que se pudiese producir amoníaco en cantidades industriales (en el verano de 1913 se puso en marcha una fábrica en Oppau, que al principio obtuvo una producción diaria de 30 toneladas de amoníaco). Este proceso, denominado de Haber-Bosch, tenía lugar a una presión de 200 atmósferas y utilizaba como materias primas aire y agua.[59] La contribución de Bosch no debe ser minimizada, como con frecuencia se hace al considerar las relaciones entre ciencia y tecnología, dando prioridad a la primera frente a la segunda. Sin sus contribuciones, el proceso no habría podido llegar al estadio industrial. Es por ello justo que la Academia Sueca de Ciencias reconociese su labor en 1932, concediéndole el premio Nobel de Química de 1931, compartido con Friedrich Bergius (el inventor de la oxigenación del carbón), por «sus servicios originando y desarrollando métodos de alta presión», que, como acabo de indicar resultó decisiva para conseguir la síntesis del amoníaco.[60] Fue el primer premio Nobel de Química que se otorgó a un trabajo de mejora técnica y avance práctico, con lo que la Fundación Nobel reconocía implícitamente la estrecha relación entre ciencia y tecnología.

Antes incluso de que todos los detalles del proceso industrial se resolviesen satisfactoriamente, y tras vencer la resistencia de BASF, que deseaba que se hiciese pública la menor información posible, Haber (que se comprometió a no revelar nada esencial) pronunció una conferencia en la Vereinigung Naturwissenschaftlichen (Asociación Científica) de Karlsruhe el 18 de marzo de 1910, titulada

«Haciendo que se pueda utilizar el nitrógeno» en la que anunciaba su descubrimiento. El científico que era Haber, aunque absolutamente sensible a la dimensión tecnológica y económica de su trabajo, no podía resistirse a utilizar los cauces y procedimientos habituales en la ciencia. «Estos resultados experimentales», manifestó en su exposición, «parecen asegurar las bases para la industria de la síntesis del amoníaco… La Badische Anilin-und Soda-Fabrik de Ludwigshafen ha continuado con éxito [las investigaciones] a partir de esta base, que he descrito aquí, de forma que la síntesis a altas presiones a partir de sus elementos puede ya incluirse entre los procesos en los que los agricultores pueden poner sus esperanzas cuando… busquen nuevas fuentes para la tan importante sustancia que necesitan.»61

Como vemos, la disponibilidad de un proceso de síntesis del amoníaco al comienzo de la guerra fue en realidad una afortunada coincidencia, pero una coincidencia fruto de la tradición, y de la excelencia alemana en química, así como del gran desarrollo de su industria química y, no hay que olvidarlo, de la fluidez de relaciones entre el mundo académico (representado en este caso por Haber) y el industrial (BASF).

La ventajosa situación en que se encontró durante bastante tiempo Alemania, en lo que a la síntesis del amoníaco se refiere, se puede apreciar a través del siguiente cuadro, que muestra la situación en 1922.

PROCEDIMIENTOS DE SÍNTESIS DEL AMONÍACO

Año	*Nación*	*Proceso/Industria*
1913	Alemania	Haber-Bosch (Badische Co.)
1917	Inglaterra	Ministerio de Municiones (Greenwood & Ass.)
1918	EE.UU.	General Chemical Co.
1920	EE.UU.	Solvay. Process Co.
1920	Francia	Claude
1921	Inglaterra	Synthetic Ammonia and Nitrogen, Ltd. Brunner, Mond & Co.
1921	Noruega	[illegible]

Y hay que tener en cuenta que la mayoría de estos procedimientos se encontraban en fase de desarrollo en

1922. El más satisfactorio era sin duda el alemán, que funcionaba en gran escala. En 1922, el proceso Solvay producía 10 toneladas diarias, y el Synthetic Ammonia and Nitrogen, Ltd. inglés, que funcionaba en una planta experimental, 2; los demás estaban todavía en desarrollo.

Esta ventaja fue percibida por los vencedores de la guerra como un peligro. Preocupado porque BASF había sido capaz de reparar sus instalaciones (en 1921 había tenido lugar una devastadora explosión en las instalaciones de Oppau), y ante la perspectiva de que sus fábricas produjesen cerca del medio millón de toneladas a finales de 1922, J. A. Harker señalaba en la reunión de la British Association for the Advancement of Science celebrada en Hull en septiembre de 1922 que «en caso de guerra, Alemania tendrá asegurados los materiales básicos para una producción gigantesca de municiones, junto a los fertilizantes suficientes para permitirle producir una gran parte de los alimentos que necesita».62

La guerra química

Ningún arma conmocionó tanto a la opinión pública mundial durante la Primera Guerra Mundial como la utilización con fines bélicos de gases venenosos. Como veremos más adelante, esta modalidad de guerra recibió su impulso decisivo de los alemanes, pero franceses y británicos también estaban realizando intentos en la misma dirección. Es importante señalar que mientras que no hay duda de que fueron los químicos quienes desarrollaron la nueva arma, el origen de ésta, o cuando menos la intensificación de los esfuerzos que condujeron a los primeros resultados realmente positivos refleja, como en tantos otros dominios, los complejos resortes que dispararon la atención de los científicos —alemanes, en este caso— hacia el problema.

El plan militar que había preparado entre 1905 y 1906 el jefe del Estado Mayor del ejército prusiano, Graf Schlieffen, plan vigente todavía en 1914, se basaba en la

idea de una rápida victoria en un posible frente en el oeste. Una de sus premisas fundamentales era que «una guerra moderna no debe durar mucho porque arruina la altamente desarrollada economía industrial de los participantes» (no se tomaba en consideración un posible bloqueo naval por parte de la Marina británica). Habida cuenta de semejante diseño, no tiene nada de extraño que, por ejemplo, el Estado Mayor del ejército no mostrase ningún interés en el intento que se estaba llevando a cabo, precisamente cuando Schlieffen preparaba su plan, para fundar un Instituto Imperial de Química, intento al que ya me referí en el capítulo 2 y que posteriormente llevaría al establecimiento de la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (Asociación Káiser Guillermo, recordemos).63

Sin embargo, en 1914 los militares alemanes se dieron cuenta de que no habría tal «guerra relámpago», y no tuvieron más remedio que recurrir, tragándose su orgullo, a los científicos (en particular después de la batalla del Maine, se comprobó que las reservas de explosivos de gran potencia eran insuficientes). A Fritz Haber y a otros químicos (entre ellos Carl Duisberg, uno de los directores de la corporación de tintes Bayer, y Walther Nernst) les pidieron que desarrollaran métodos químicos para utilizar contra las líneas enemigas en el campo de batalla. En octubre y noviembre de 1914, mientras Haber —instalado desde octubre de 1912 en Berlín, como director de un Instituto de Química en la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, en Dahlem, catedrático de la Universidad de Berlín y miembro de la Academia Prusiana de Ciencias— llevaba a cabo distintos intentos sin éxito, Duisberg y Nernst prepararon, utilizando las instalaciones de la Bayer, varios tipos de granadas y bombas incendiarias, y comenzaron a estudiar gases irritantes no letales, que, por lo visto, consideraban utilizables sin violar los acuerdos de las Convenciones Internacionales de La Haya de 1899 y 1907.64 En este último dominio desarrollaron un proyectil lleno de gas, con el que pretendían hacer inhabitables las líneas enemigas durante el tiempo suficiente para tomarlas. En el otoño e

invierno de 1914 utilizaron semejante arma, pero con escaso éxito militar.

Como apunté antes, los alemanes no fueron los únicos en intentar utilizar gases con fines bélicos en los primeros compases de la guerra. La propia existencia de las mencionadas previsiones en las Convenciones de La Haya indican que la posibilidad (o idea) de la guerra química ya se encontraba relativamente extendida a finales del siglo XIX. En agosto de 1914 los franceses ya disponían de cartuchos de gases, preparados por los Cuerpos de Ingenieros franceses; más tarde (en marzo de 1915) utilizaron proyectiles que contenían un gas irritante, el bromoacetato de etilo. Por su parte, los británicos habían efectuado algunas pruebas, adoptando un gas lacrimógeno, el yodoacetato de etilo, al que designaban SK, ya que había sido descubierto en el Imperial College, en el barrio londinense de *S*outh *K*ensington.

Pero regresemos al ejército alemán. Éste se mostró desilusionado con los resultados obtenidos, pero no obstante ordenó que continuase la producción de los proyectiles. Al mismo tiempo el general Erich von Falkenhayn pedía que los expertos produjesen gases que inutilizasen permanentemente —incluso llegando a la muerte— al enemigo. Duisberg creía que la solución de este problema requeriría un esfuerzo científico exagerado, pero, aunque de mala gana, continuó investigando el asunto.

Sin embargo, el genio químico de Haber no necesitaba tanto y, prácticamente al mismo tiempo que Duisberg ponía dificultades y solicitaba más recursos, encontraba una solución en principio simple e ingeniosa: un gas venenoso de cloro, que se lanzaría desde las propias líneas alemanas utilizando contenedores apropiados y aprovechando vientos adecuados. Haber explotó la posibilidad de licuar el cloro a la temperatura ambiente, utilizando presiones moderadas.[65] Comprimido en contenedores cilíndricos, podía ser luego expulsado igual que la gaseosa de un sifón.

No todo el mundo estuvo de acuerdo con que la solución de Haber era conveniente. Además de objeciones

morales, estaba el sentido de los vientos predominantes en el frente del oeste, que era el contrario al que se necesitaba. Tras preguntar cuánto tiempo podrían tardar franceses y británicos en desarrollar armas similares, y respondérseles que cerca de seis meses, el ejército consideró que la posible ventaja inicial que tendría justificaba los riesgos.

Los vientos retrasaron, efectivamente, durante semanas el comienzo de los ataques, lo que llevó al general Falkenhayn a trasladar parte de sus tropas al frente del este el 17 de abril de 1915. Muy poco después, el día 22, comenzaba la guerra química. Aquel día una nube de cloro de entre 6 y 10 kilómetros de longitud y entre 600 y 900 metros de profundidad, se dirigió desde cilindros de acero hacia las posiciones francesas en el saliente de Ypres. El éxito inicial fue muy superior al previsto, pero al no haber utilizado una gran cantidad de gas y al no disponer de fuerzas suficientes, el ejército alemán no pudo desencadenar una ofensiva en gran escala. Se perdió de esta manera una ocasión única; nunca más se contaría con una ventaja psicológica y táctica similar.66 Contravinieron así los militares germanos una de las lecciones sobre las que había advertido uno de sus grandes maestros de las tácticas militares, el general prusiano Carl von Clausewitz (1780-1831), que en su clásico libro *De la guerra*, había escrito:67 «[De la] general aspiración a la superioridad relativa, se desprende otra aspiración, que en consecuencia ha de ser igual de general: es *sorprender* al enemigo... El secreto y la rapidez... presuponen una gran energía en el gobierno y en general, y una gran seriedad del servicio en el ejército».

Dos días después, se repitieron los ataques, esta vez contra las tropas inglesas y canadienses. También con magníficos resultados. El 4 de mayo volvieron los ataques, pero para entonces franceses y británicos ya estaban parcialmente preparados, con respiradores improvisados rápidamente, y los efectos no fueron tan dramáticos. He aquí cómo describían este acontecimiento unos años después unos militares (artilleros) españoles, obviamente

favorables al empleo de esta arma, en un libro titulado *Manual de guerra química*:[68]

> El primer ataque por gases fue realizado por los alemanes en la tarde del 22 de abril de 1915, fecha memorable en los anales de la Guerra Química.
>
> La idea de usar los gases tóxicos para vencer la resistencia del frente aliado, parece ser debida al sabio profesor Nernst, pero quien la llevó a la práctica fue, el no menos famoso, Haber. Esta idea tropezó, desde el primer momento, con los bayardistas[69] del Alto Mando y el Estado Mayor, pero tal fue la insistencia y el tesón de Haber, que al fin consiguió el permiso para llevar a cabo un pequeño ensayo sobre un sector del frente, al norte de Ypres. El ataque se realizó por la emisión del gas cloro contenido líquido en botellas de acero del comercio y abarcó un frente de unos 10 kilómetros, ocupado por una división francesa. La duración de la emisión fue de ocho minutos y los efectos fulminantes. Los aliados sufrieron 15.000 gaseados, de los que 5.000 murieron (33 por 100 de muertos con relación al de bajas), la mayor parte en el mismo campo de batalla. Las fuerzas aliadas del sector de ataque quedaron aniquiladas y el frente completamente roto; pero los alemanes no consiguieron más que avanzar 4 kilómetros —sin oír un solo disparo— cogiendo 5.000 prisioneros, 60 cañones y material de todas clases. Tan escaso resultado, en comparación con el éxito enorme que significó el ataque, fue debido a que el escepticismo del Alto Mando había sido tal, hasta el último momento, que el Estado Mayor no había preparado las reservas necesarias para realizar un avance a fondo, que tal vez hubiera hecho variar la faz de la campaña.

Los aliados, tal y como estaba previsto, contraatacaron cinco meses después, aunque con menos efectividad de lo que lo habían hecho los alemanes en abril. Inmediatamente después de ser atacados con gases comenzaron a trabajar no sólo para defenderse, sino también para atacar. Los británicos, por ejemplo, se organizaron de la manera siguiente: en el aspecto ofensivo, fueron el Scientific Advisory Committee, primero, y el Chemical Advisory Committee del Ministerio de Municiones, después, los encargados de dirigir los trabajos. En el defensivo, la responsabilidad recayó en el Anti-Gas Department del

Ministerio de la Guerra (War Office). Esta división de funciones, consecuencia no sólo de decisiones políticas sino también de la ausencia de una institución especializada en química como la Asociación Káiser Guillermo, resultó ser poco afortunada, ya que muchos problemas eran comunes. En octubre de 1917, los dos departamentos se unieron en el Chemical Warfare Department (Departamento de Guerra Química) del Ministerio de Municiones, bajo la supervisión del brigadier H. F. Thillier. Este departamento creció rápidamente y en la fecha del armisticio empleaba a 189 químicos (sin contar con los que colaboraban desde los laboratorios universitarios).

En el aspecto ofensivo se constituyó además una Compañía Especial, dirigida por el mayor C. H. Foulkes, un veterano de la guerra contra los bóers absolutamente convencido de la efectividad de los gases, y compuesta principalmente por químicos a los que se alistó y promocionó rápidamente al puesto de cabos.70 El primer ataque británico se produjo el 25 de septiembre. A partir de entonces los ataques fueron frecuentes, aprovechando además las direcciones y sentidos del viento. Satisfechas las autoridades militares con los resultados que se iban obteniendo, la Compañía se convirtió en Brigada Especial. Al término de la guerra, esta brigada había realizado 786 operaciones, en las que habían liberado 5.700 toneladas de gases. El 25 por 100 de estas operaciones utilizaron el mismo método que los alemanes habían empleado el 22 de abril; el resto fueron con distintos tipos de proyectiles.

Entre los alemanes, el éxito inicial no hizo, naturalmente, sino estimular la investigación en este campo. En 1916, y a iniciativa de Haber, se fundó una Kaiser-Wilhelm-Stiftung für Kriegstechnische Wissenschaften (Fundación Káiser Guillermo para las Ciencias Técnicas y Militares), que en 1917 pasó a depender del Ministerio de la Guerra. Esta organización no tenía instalaciones de investigación propias; su propósito era promover y coordinar trabajos relacionados con la guerra realizados en instituciones universitarias o en

laboratorios de los Institutos Káiser Guillermo. Emil Fischer, el gran químico orgánico y líder científico de la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, se encargó de dirigir, junto a Haber, la nueva organización, que estaba dividida, al estilo de organizaciones no muy distintas en naciones enemigas, en seis secciones diferentes.

En cuanto a los trabajos de Haber en Dahlem, tenemos que en 1917 manejaba un presupuesto cincuenta veces superior al que había dispuesto antes de la guerra en su instituto, dirigiendo todo un batallón de trabajadores que se ocupaban del tema: 1.500 personas, de las que 150 eran científicos. Aunque el grueso de los trabajos se realizaban en el Instituto de Química-Física, todos los laboratorios de los Institutos Káiser Guillermo situados en Dahlem se vieron involucrados.

Se desarrollaron nuevos compuestos y gases. Se abandonó el método de dirigir los gases químicos contra el enemigo utilizando el viento como fuerza motriz, optándose por proyectiles lanzados desde piezas de artillería (al final al menos un cuarto de la munición de gran calibre alemana estaba cargada con agentes gaseosos).

Durante la guerra, y tomando ambos bandos, se emplearon unos veinticinco gases tóxicos, de los cuales únicamente tres eran gases a la temperatura ambiente. Atendiendo a su efecto sobre el hombre, estas sustancias tóxicas se pueden clasificar en cuatro clases.[71] Es interesante detenerse un instante en tal clasificación.

En primer lugar estaban los gases (como el cloro o el fosgeno [$COCl_2$]) que son nocivos cuando se respiran, pero que no producen ningún efecto sobre la piel, afectando únicamente a la vista y al olfato. Era posible defenderse de ellos utilizando aparatos respiradores, por lo que solamente tenían valor militar cuando se empleaban sobre tropas no protegidas.

El segundo grupo era el de los gases que son venenosos únicamente en concentraciones muy elevadas, pero que irritan los ojos cuando se presentan en cantidades pequeñas; a la concentración de una parte en cinco millones

pueden dejar ciega a una persona durante algunos segundos, produciendo lagrimeo. Podían ser evitados mediante respiradores o anteojeras.

El tercer grupo, que se componía en su mayoría de arsénico, se desarrolló poco durante la guerra. Sin embargo, su eficacia era mucho mayor. En pequeñas cantidades producían simplemente estornudos, pero en cantidades mayores ocasionaban dolores terribles. Según J. B. S. Haldane, un experto en estos temas, «algunos soldados, envenenados por estas sustancias, tenían que ser sujetados para evitar que se suicidasen; otros se volvían temporalmente locos delirantes e intentaban meterse bajo tierra, para escapar a perseguidores imaginarios».[72] Estas sustancias atravesaban la mayoría de los respiradores, pero sus efectos no eran en general permanentes.

El cuarto grupo constaba entonces de una sola sustancia: el gas mostaza [sulfuro de bis(ß-cloroctilo); $(ClCH_2CH_2)2S$]. En realidad se trata de un líquido, cuyo vapor, además de ser venenoso cuando se respira, produce ampollas en cualquier parte de la piel con la que entra en contacto.[73] Su evaporación es tan lenta que los terrenos contaminados continuaban siendo peligrosos durante una semana.

Habida cuenta de estas propiedades del gas mostaza, cabe preguntarse acerca de su utilización en la guerra.

Los alemanes lo estudiaron pronto, pero en 1916 se consideraba que su toxicidad era mucho más baja que la del fosgeno y Haber decidió no continuar ocupándose de él (nadie recordó que treinta años antes ya se había descrito su capacidad de producir ampollas). En 1917 se reanudaron las investigaciones, interesándose por la persistencia del gas sobre el terreno, pero ignorándose aparentemente efectos como ampollas y conjuntivitis. Entre los aliados, la historia fue, en esencia, parecida. Los británicos observaron en 1916 los efectos que los alemanes ignoraban, pero no detectaron la persistencia y al creer que su rango de acción era muy pequeño perdieron interés en él. Con detalles diferentes, los franceses tampoco acertaron en su diagnóstico.[74] El 12 y 13

de julio de 1917, en Ypres de nuevo, los alemanes emplearon por primera vez el gas mostaza, y a pesar de lo tardío de la fecha, en lo que quedaba de guerra produjo más bajas (unas 160.000) a los ingleses que todas las demás armas químicas juntas, no por el índice de mortalidad, que fue bastante bajo, sino porque inutilizaba constantemente soldados.

El grado de participación de los cuatro grandes en la guerra (ofensiva) química durante la Primera Guerra Mundial puede deducirse con cierta aproximación de sus respectivas producciones de gases. Según L. F. Haber, la producción fue la siguiente (en miles de toneladas):[75]

	Cloro (líquido)	*Fosgeno*	*Difosgeno*	*Gas mostaza*	*Cloro-picrina*	*Cianuros*
Alemania	58,4	18,4	11,6	7,6	4,4	–
EE.UU.[76]	52,4	51,4	–	0,9	2,5	–
Francia	12,5	15,7	–	2,4	0,5	7,7
Gran Bretaña	20,8	51,4	–	0,5	8,4	0,4

También es relevante el número de químicos que se ocuparon de estos temas:[77]

NÚMERO (APROXIMADO) DE CIENTÍFICOS Y AYUDANTES QUE PARTICIPABAN EN 1918 EN I+D PARA LA GUERRA QUÍMICA

	Con, a lo sumo, un diploma técnico,	*Con título universitario*	*Total*
Alemania	2.850	1.850	2.850
EE.UU.	1.200	1.200	1.200
Francia	110	110	110
Gran Bretaña	1.340	1.340	1.340
Total	5.490	5.490	5.490

En cuanto a las bajas debidas a los gases, y utilizando ahora otra fuente, más reciente, tenemos la siguiente tabla:[78]

INTOXICADOS POR GASES

	Muertos por gas	*Gases*	*Estados*
Rusia	450.000	450.000	450.000
Alemania	200.000	200.000	200.000
Francia	190.000	190.000	190.000

Imperio británico	188.700
Austria-Hungría	100.000
EE. UU.	72.500
Italia	50.000
Otros	10.000
Total	1.295.698

Además de aspectos ofensivos, también se investigó sobre otros defensivos. Había, por ejemplo, que desarrollar medios de proteger a las tropas de los gases. No sólo porque el enemigo también podía emplear tal arma, sino porque, como ya dije, en el caso de los alemanes los vientos cambiaban con frecuencia de sentido, llevando entonces los gases lanzados hacia las propias tropas agresoras. Haber intentó desarrollar algún aparato o máscara que protegiese la respiración de los soldados germanos, pero no tuvo éxito. En consecuencia, solicitó la ayuda de Richard Willstätter (1872-1942), el director de la sección de Química orgánica del Instituto Káiser Guillermo de Química. El problema era encontrar medios para neutralizar en primer lugar el cloro y el fosgeno, en particular su combinación, y luego otros posibles venenos e irritantes. Antes de abandonar, en 1916, Dahlem para sustituir a Adolf von Baeyer en Múnich, Willstätter —que acababa de recibir el premio Nobel de Química de 1915 por sus investigaciones sobre pigmentos de plantas, en especial la clorofila— desarrolló (en el laboratorio de química-física de Haber, para mantener en secreto sus investigaciones) un tambor con un filtro de tres capas, que utilizaba carbón y otros productos químicos. De la efectividad de la máscara desarrollada por Willstätter da idea la siguiente carta que éste recibía en febrero de 1917, ya instalado en Múnich, del ministro prusiano de la Guerra:79

> De un estudio de las máscaras suministradas por el ejército durante los últimos doce meses, deduzco que aproximadamente 30.000.000 máscaras de tres capas han sido utilizadas.
>
> Los informes de las tropas han sido consistentemente favorables. En consecuencia, el tambor de tres capas desarrollado por Su Excelencia en el otoño de 1915 en el

> Laboratorio de Química-Física y Electroquímica Káiser Guillermo, Berlín-Dahlem, ha demostrado ser una importantísima arma defensiva.

En conjunto, los alemanes mantuvieron una posición de ventaja en la guerra química hasta su derrota final. La calidad de sus químicos, especialmente de Haber y su grupo, la existencia de una institución especializada en química como la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, que monopolizó prácticamente toda la investigación relacionada con la guerra química, así como la superior calidad de la industria química germana explican la diferencia. Sin embargo, hay que insistir en que los gases no constituyeron en modo alguno un arma decisiva en la Gran Guerra. Varios son los motivos que explican esta afirmación. Por un lado, los militares nunca se esforzaron por integrar realmente la guerra química en sus tácticas, y así los gases se utilizaron más para confundir al enemigo y producirle bajas que para decidir batallas. La educación y tradición de los militares de las distintas naciones beligerantes, en las que la ciencia brillaba por su ausencia, no fueron ajenas a este hecho. Por otro lado también hay que tener en cuenta que la relativa facilidad con que se desarrollaron mecanismos defensivos, como las máscaras, disminuyó considerablemente la efectividad de los gases venenosos.[80] Así, los soviéticos, que contaban con pocos medios defensivos (debido a la precariedad en que se encontraban), fueron los que, como hemos visto en la tabla anterior, sufrieron más bajas: 475.340 soldados del Ejército Rojo tuvieron que ser dados de baja por efecto de los gases, no muchos menos que Alemania, Estados Unidos, Francia y Gran Bretaña juntos;[81] de ese casi medio millón, unos 56.000 perecieron.

En su informe de 1919 a la British Association for the Advancement of Science, Harold Hartley resumió de manera escueta pero apropiada las dudas que se tenían sobre el valor que la nueva arma química había tenido en la guerra:[82]

> El juicio de las generaciones futuras sobre la utilización de

> gases puede verse influido por el patético cuadro de [John Singer] Sargent en el que se muestran las primeras víctimas producidas por el gas mostaza en Ypres,[83] pero al contemplar ese cuadro no se debe olvidar que el 75 por 100 de los hombres cegados que dibujó estaban listos para volver al frente tres meses después, y que su destino habría sido infinitamente peor si sus miembros y nervios hubiesen sufrido los efectos de un poderoso explosivo.

Es un privilegio de los vencedores el imponer sus propios términos a los derrotados. El 7 de febrero de 1920, los aliados presentaban una lista de «criminales de guerra», 194 páginas con 895 nombres. La lista incluía, entre príncipes, líderes del ejército, como Hindenburg y Ludendorff y comandantes de submarinos, al capitán y consejero privado del Estado, profesor Fritz Haber. Un año antes, el Comité Nobel le había concedido el premio Nobel de Química correspondiente a 1918, por su contribución a la síntesis del amoníaco. En su comunicación la Academia Sueca de Ciencias había calificado a la síntesis del amoníaco, «un medio extraordinariamente importante para el desarrollo de la agricultura y el bienestar de la humanidad», y felicitaba al profesor alemán por este «triunfo en el servicio de su país y de la humanidad». Una misma persona, sirviendo, esencialmente con los mismos mecanismos, a su profesión y a su nación, producía resultados que podían servir para calificarle, con motivos justificados, tanto de benefactor de la humanidad como de criminal de guerra. No por primera vez en la historia, pero sí de forma particularmente intensa y en una época en la que la información ya se diseminaba rápidamente a lo largo y ancho del globo, se hacían patentes las diferentes caras de la ciencia.[84]

España y la guerra química en el Rif

España también siguió el triste ejemplo que se había implantado durante la Primera Guerra Mundial, utilizando gases asfixiantes en el Rif (Marruecos). Recordaré

brevemente este episodio, no sólo porque así cumplo con lo que dije al principio: que intentaría dar cabida, aunque fuese muy someramente, al caso hispano, sino también porque muestra que las nuevas tácticas bélicas se difundieron con cierta rapidez; más aún, se da la circunstancia de que Francia y Alemania suministraron los materiales necesarios, los gases tóxicos, a España.

Con respecto a la relación de España con África, tenemos que había estado presente en el norte del continente africano desde finales del siglo XV hasta el XIX, aunque su presencia se había limitado al control de unas pocas plazas costeras. Sin embargo, a partir de mediados del XIX comenzó a desarrollarse una mentalidad colonial que condujo a guerras como la de Tetuán (1859-1860) y la de Melilla (1893), en defensa de unos supuestos «derechos históricos» españoles en la región. En 1904, un acuerdo firmado por Francia y Gran Bretaña dio a España el control del norte de Marruecos, lo que condujo al establecimiento en 1912 del denominado Protectorado en Marruecos, que abarcaba una extensión de unos 23.000 km2, en la que se hallaban cinco regiones: el Rif, Yebala, Gomara, Lucus y el Kert, quedando el resto de Marruecos bajo el control francés.

Es en este contexto en el que surgió la guerra del Rif, que comenzó con el llamado «Desastre de Annual» la caída, entre el 21 de julio y el 9 de agosto de 1921, de una serie de campamentos y posiciones españolas situadas entre Annual y Melilla ante los ataques de fuerzas rifeñas dirigidas por Mohamed Abd-el-Krim El Jatabi. Consecuencia de este hecho es que pronto comenzaron a alzarse voces en España (en la prensa y en el Congreso) que pedían la utilización de todos los medios militares necesarios, incluidos los gases tóxicos.[85]

Los gases de los que dispuso España procedieron inicialmente de Francia, aunque posteriormente llegaron también de Alemania, cuya ayuda terminó superando a la francesa. En una carta del caíd Haddu ben Hammu a Abd-el-Krim, citada por María Rosa de Madariaga y Carlos

Lázaro Ávila, fechada el 24 de junio de 1922, se lee:86 «Te comunico que un barco francés ha transportado 99 quintales de gas asfixiante por cuenta de los españoles. Dicho cargamento llegó a Melilla el 16 de junio». En la misma carta se indicaba que un tal señor Bartoli había llegado de París trayendo 100 máscaras antigás (éstas se encontraban ya en Orán) que vendería al precio de 100 francos unidad, aunque si el pedido fuese lo suficientemente importante podría dejarlas en 60 francos. También hablaba de un «cañón que lanza gases asfixiantes», cuyo alcance era de 50 kilómetros y costaba 5.000 francos.

Dejando de lado más detalles, diré que la autorización para emplear gases la dio el 13 de julio de 1922 el general Dámaso Berenguer, que entonces se encontraba al frente de la Alta Comisaría. Aquel mismo mes, el general Ricardo Burguete sustituyó a Berenguer, pero en septiembre confirmó la orden de aquél. El arsenal químico, depositado en Melilla, era en aquel momento de 2.000 proyectiles cargados con gases.

Fue finalmente en julio de 1923 cuando los españoles comenzaron a utilizar los gases tóxicos, fundamentalmente gas mostaza (también denominado iperita, por Ypres), fosgeno y cloropicrina. El medio principal para utilizarlos fue la aviación, una fuerza militar que aunque no tenía tras de sí una larga historia —por la sencilla razón de que la aviación tampoco la tenía— estaba bien instalada en España y en particular en su ejército, en el que sirvieron pioneros aeronáuticos como Pedro Vives, Alfredo Kindelán, Emilio Herrera y Pedro Huarte Mendicoa, sin olvidar a civiles como Leonardo Torres Quevedo, inventor de algunos modelos de globos de tipo *zeppelin*, y Juan de la Cierva, inventor del autogiro. De hecho, en 1913 España se estableció como la primera nación que utilizó la aviación en la guerra. Fue durante la campaña militar que entonces se desarrollaba en el norte de África. Aquel año el ejército español instaló un aeródromo cerca de Tetuán, y en abril del año siguiente, Pedro Vives estableció un campo de aviación en la orilla izquierda del río Martín, cerca de

Melilla.[87]

El caso de la aeronáutica española recuerda en ciertos aspectos al de la medicina. España no era, a finales del siglo XIX y comienzos del XX, una nación avanzada ni en ciencia ni en tecnología, y sin embargo se incorporó rápidamente al nuevo mundo de la aeronáutica, incluso realizando aportaciones originales notables. La explicación de este hecho se debe, en mi opinión, a dos factores. El primero es que, precisamente por su novedad, las técnicas y conocimientos científicos que se necesitaban en los primeros tiempos de la aeronáutica no eran demasiado exigentes, siendo accesibles a los militares e ingenieros hispanos, que además recibían en algunos casos una educación técnica bastante avanzada. En segundo lugar está el que el ejército español identificó enseguida el interés que tenía la aviación para cumplir mejor sus funciones, convirtiéndose inmediatamente en el mejor protector en España de las nuevas técnicas, tanto en el aspecto técnico como en el educativo. No es exactamente igual al caso de la medicina, pero contiene algunos rasgos parecidos: la medicina no podía ser ajena a los intereses de la nación porque tampoco lo podía ser la salud pública, mientras que en el caso de la aviación, quien no pudo mantenerse realmente al margen de ella fue un departamento particularmente importante del Estado, el ejército.

Volviendo al caso de la guerra química durante la campaña del Rif, y para terminar este escueto apunte, tenemos que un testigo excepcional del uso por parte de los españoles de gases asfixiantes fue el escritor Ramón Sender, que realizó su servicio militar en Marruecos entre el 21 de febrero de 1923 y el 31 de enero de 1924. En 1930, Sender publicó una novela (claramente antibelicista), *Imán* (1930), cuya trama transcurre en el Rif entre 1921 y 1924. Pues bien, en algunos lugares de esta obra, Sender se refirió al empleo de los gases. Uno de esos pasajes es el siguiente:[88]

> —Es un desgraciado —añade. Además de la locura tiene llagas de iperita [gas mostaza]. El viento llevó gases del 5 de julio en Tizi Azza y resultaron con llagas casi todos los soldados

de la línea de blocaos del tractocarril.

Alguien, celoso de los aviadores, dice al teniente coronel:

—¡Qué torpeza, tirar gases con viento contrario!

Como vemos, viejos temas que ya nos han aparecido antes: las llagas producidas por los gases tóxicos, o el viento que llevaba de vuelta a éstos a quienes los habían lanzado.

Capítulo 9

CONSECUENCIAS SOCIOPOLÍTICAS Y ECONÓMICAS DE LA GUERRA

En el capítulo anterior hemos visto cómo se organizó la ciencia para apoyar el esfuerzo bélico de las naciones beligerantes; me ocupé especialmente de la detección de submarinos y de la guerra química, los dos ejemplos más destacados en la Primera Guerra Mundial de ciencia y científicos al servicio de la guerra. Tomado en su conjunto, se puede decir que ese capítulo se ocupa más de aspectos institucionales, de la relación ciencia (y científicos) con los respectivos gobiernos, que de los efectos que la guerra provocó dentro de las diferentes comunidades científicas, así como en lo que se puede denominar «comunidad científica internacional». Sin embargo, en este caso tal limitación constituye una importante deficiencia, ya que las consecuencias sociales y económicas de la Gran Guerra no se limitaron en modo alguno al establecimiento de instituciones como el Department of Scientific and Industrial Research británico y el National Research Council estadounidense, que sobrevivieron al armisticio, o a que la ciencia ganase en importancia social al darse cuenta los gobiernos de su posible utilidad. Como veremos en el presente capítulo, las relaciones entre científicos de ambos bandos sufrieron un grave quebranto, iniciado al hacerse público en Alemania en 1914 el célebre «Manifiesto de los 93». Por otra parte, la derrota tuvo serias consecuencias socioeconómicas para la ciencia germana, de las que también me ocuparé aquí. Pero para apreciar mejor la ruptura que se produjo, es conveniente referirse antes a cómo había surgido, durante el siglo XIX, ese internacionalismo.

En realidad, el origen del talante internacionalista de la ciencia se remonta, cuando menos, a la época en que se fundaron las primeras academias modernas, la Royal Society (1660, Londres), la Académie Royale des Sciences (1666, París) y la Societas Regia Scientiarum (1700, Berlín), que pronto empezaron a admitir como miembros a extranjeros. Las redes de comunicación establecidas en aquella época por Marin Mersenne, en París, y Henry Oldenburg, secretario de la Royal Society, muestran con claridad el carácter cosmopolita de esas instituciones, como también lo ejemplifican las competiciones científicas que patrocinaban durante el siglo XVIII, y que estaban abiertas a todos los sabios europeos (en 1744, la Academia berlinesa incluso introdujo en sus estatutos el carácter internacional de sus premios).

Fue, no obstante, en la segunda mitad del siglo XIX cuando se aceleró la dimensión internacionalista de la ciencia. Sorprendentemente esto ocurrió en un momento en el que el nacionalismo político estaba intensificándose en todo el mundo. Al mismo tiempo que el desarrollo interno de la ciencia ampliaba sustancialmente su oferta de servicios de gran utilidad al Estado, los científicos extendían sus relaciones internacionales. Es posible mostrar tal apertura de diferentes maneras, pero en una obra como la presente tal vez la más apropiada sea la siguiente.

Con el desarrollo económico y social, los gobiernos de las naciones más industrializadas tomaron diferentes iniciativas para promocionar el comercio internacional.[1] Ahora bien, para poder vender productos surgidos de muchas de las tecnologías de la época se necesitaban sistemas comunes de unidades. El gobierno francés, por ejemplo, defendió a lo largo de una buena parte del siglo la necesidad de implantar y regular firmemente el sistema métrico. Esta insistencia condujo a la celebración de una Conférence Diplomatique du Metre (Conferencia Diplomática sobre el Metro) del 1 de marzo al 20 de mayo

de 1875, con la participación de 21 naciones (España entre ellas). La culminación de esta campaña, en la que tomaron parte activamente la Académie de Sciences y la Royal Society, fue la creación de una de las primeras instituciones internacionales de investigación: el Bureau International des Poids et Mesures, en Sèvres, en las afueras de París.

La industria de la electricidad y de las comunicaciones también contribuyó a estos desarrollos. Las exigencias comerciales impulsaron tanto la investigación metrológica dentro de las distintas naciones como la celebración, durante las décadas de 1880 y 1890, de numerosas reuniones internacionales dedicadas al establecimiento de un sistema común de unidades eléctricas. Es significativo que el Primer Congreso Internacional de Electricidad, celebrado en París en 1881, fuera presidido por el director francés de Correos y Telégrafos, y que el triunvirato que encabezaba la delegación alemana estuviese formado por un representante del gobierno (Wilhelm Förster), uno del mundo académico (Hermann von Helmholtz) y uno de la industria (Werner von Siemens).2 Durante las sesiones tuvieron lugar intensos y apasionados debates, especialmente entre las delegaciones alemana y británica (en la que destacaba el polifacético William Thomson). La British Association for the Advancement of Science llevaba trabajando en el asunto desde 1862, a través de un comité específico, mientras que la ambición de los germanos era hacer de Berlín la meca de las medidas eléctricas, al igual que París ya lo era de las métricas. Los nombres que se adjudicaron a las unidades básicas (ohmio, voltio, faradio, culombio, weber, amperio) revelan la tensión nacionalista que subyacía en aquellos debates.3 Nacionalismo e internacionalismo se daban la mano, como vemos.

Intereses socieconómicos y políticos aparte, el propio desarrollo interno de la ciencia impulsaba la colaboración internacional entre científicos. Estudiantes extranjeros acudían, como ya vimos, a los laboratorios más renombrados, y el desarrollo de los transportes facilitaba los viajes de los propios investigadores. Científicos

extranjeros asistían, por ejemplo, a las reuniones de las Asociaciones para el Progreso de la Ciencia, a las de la Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, al igual que a las de la British Association for the Advancement of Science. Este comportamiento era todavía más común en las reuniones bianuales que celebraba a partir de 1865 la Astronomische Gesellschaft (Asociación Astronómica) alemana; de hecho, aquellas reuniones se constituyeron en una especie de congresos internacionales de astronomía. Aquí hay que tener en cuenta, no obstante, la larga historia y tradición de la ciencia astronómica.

Dentro de ese espíritu de cooperación internacional, y promovida por franceses, se creó en 1876 una Alianza Científica Universal, también denominada «Asociación internacional de científicos». Entre los mecanismos que esta Asociación pretendía utilizar para «facilitar las relaciones de los científicos diseminados por todos los países del globo», se encontraba proporcionarles «tan pronto como hayan llegado a una población, el medio de entrar en relación inmediata con los sabios, hombres de letras o artistas que residan allí, y procurarles los informes que les puedan ser útiles para acceder a bibliotecas y museos públicos o particulares».4 No parece, sin embargo, que esta Alianza tuviese mucho éxito.

Al progresar la ciencia, al hacerse más complicada, al aumentar el número de especialistas, de científicos *profesionales*, se sintió con mayor intensidad la necesidad de utilizar un lenguaje común, lo más económico (conceptualmente hablando) posible, y ello independientemente de su posible valor comercial. Tal fue el sentimiento que animó a August Kekulé, cuando convocó en 1860 un Congreso de Química en Karlsruhe con el propósito de lograr acuerdos que aumentasen la coherencia de la notación química.5 Fue surgiendo, en definitiva, una cultura científica transnacional que facilitó el intercambio de ideas, técnicas e instrumentos. Y en el marco de esa cultura nacieron asociaciones o instituciones internacionales, entre las que se pueden citar las siguientes:

la Asociación Geodésica Internacional (1864), el Comité Permanente del Repertorio Bibliográfico de Ciencias Matemáticas (1889), la Comisión Internacional para el Estudio de las Nubes (1891), el Comité Internacional de Pesos Atómicos (1897), la Comisión Internacional de Fotometría (1900), la Asociación Internacional de Sismología (1903), la Unión Internacional para la Cooperación en las Investigaciones Solares (1904), el Instituto Polar Internacional (1907), el Comité Internacional para la Publicación Anual de Tablas de Constantes (1909) y la Comisión Internacional del Radio (1910), así como la Asociación Internacional de Academias (1899), una organización que agrupaba a las academias más importantes y cuyo propósito era fomentar la cooperación internacional y facilitar los contactos entre sabios de diferentes naciones. Antes de comenzar la Primera Guerra Mundial, la Asociación contaba con 22 miembros. No obstante, como veremos, no sobrevivió a la guerra.[6]

Mención aparte merece la creación, en 1901, de la Institución Nobel, constituida según lo dispuesto en el testamento de Alfred Nobel (1833-1896), el ingeniero e inventor sueco. Rápidamente, esta institución consiguió un gran prestigio, especialmente a través de los premios anuales que otorgaba (de Física, Química, Medicina o Fisiología, Literatura y Paz).[7] El espíritu universalista que animó a Nobel se observa con particular agudeza en el requisito para la selección del premio de la Paz: «A la persona que haya promovido más o mejor la fraternidad de las naciones y la abolición o disminución de los ejércitos permanentes y la formación y aumento de los Congresos de Paz»;[8] pero también se plasmó en los restantes premios que en general se adjudicaban sin atenerse a nacionalidades.

Otro ejemplo notorio de institución creada para favorecer el intercambio internacional fueron los Institutos y Consejos (*Conseils*) Internacionales de Física y Química Solvay. Como más adelante me ocuparé con algún detalle de las repercusiones de la Primera Guerra en esta institución, y dada además la importancia y notoriedad que

alcanzaron los congresos de física que organizó durante el primer tercio del siglo, me detendré brevemente en la historia de su creación.

Los Institutos y Consejos Solvay

El origen de los Institutos y Consejos Internacionales de Física y Química Solvay data de la primera mitad de 1910. Por entonces Walther Nernst y Max Planck estaban pensando organizar un congreso que se ocupase de la necesidad de reformar lo que hoy denominamos la «vieja teoría cuántica». En uno de sus viajes, Nernst pasó por Bruselas donde conoció a Ernest Solvay (1838-1922), el químico belga que hizo una fortuna al desarrollar un procedimiento de fabricación del bicarbonato sódico, que inmediatamente se ofreció a subvencionar el Congreso.[9]

La reunión se celebró en Bruselas, entre el 30 de octubre y el 3 de noviembre de 1911, y estuvo dedicada a «La teoría de la radiación y los cuantos». Veintiún físicos, una auténtica élite formada por Lorentz (que presidía), Planck, Nernst, Einstein, Rutherford, Marie Curie, Poincaré, Sommerfeld, Wien, Jeans, Langevin, Perrin, Kamerlingh Onnes, Rubens, Warburg, Marcel Brillouin, Hasenöhrl, Knudsen, Maurice de Broglie, Lindemann y Goldschmidt, más dos colaboradores de Solvay, participaron en el congreso, al que sólo era posible acceder por invitación (Lord Rayleigh y van der Waals también fueron invitados, pero no pudieron asistir).[10] Como se ve, el grupo más numeroso era de alemanes: 6 (7 si incluimos a Einstein, ya nacionalizado suizo, que entonces era profesor en la Universidad de Praga).

Aquel primer Consejo Solvay es hoy parte de la historia de la física, no tanto por los resultados que se obtuvieron (las investigaciones concretas rara vez se llevan a cabo en semejantes foros), sino por la singularidad de la mayoría de los participantes, por la naturaleza del tema debatido, que ocupaba una posición central en la física del momento, así como porque hasta entonces no habían abundado reuniones

de este tipo; esto es, auténticamente internacionales y dedicadas específicamente a problemas abiertos de física. El único celebrado antes había sido el Congreso Internacional de Física que tuvo lugar entre el 6 y el 12 de agosto de 1900 en París. Estuvieron representados Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia, Grecia, India (una colonia inglesa todavía, por supuesto), Japón, México, Rusia y Suecia. Se trató de una reunión sustancialmente diferente a la Solvay, ya que las sesiones estuvieron dedicadas a que científicos importantes presentasen exposiciones sintéticas sobre los conocimientos adquiridos definitivamente en la física en el momento del Congreso; esto es, se trataba de mirar más hacia el pasado que hacia el futuro. En cuanto a la química, ya se habían celebrado varias reuniones; por ejemplo, la mencionada de Karlsruhe en 1860, o un Congreso Internacional de Química aplicada (Bruselas, 1894). También estaban los Congresos Internacionales de Matemáticos, el primero de los cuales tuvo lugar en Zúrich en 1897 y que inauguró una conferencia de Henri Poincaré, cerrándolo otra de Felix Klein. Un francés y un alemán, algo que unos pocos años después resultaría, como veremos, impensable o imposible.11

Dado el éxito de la primera reunión, Solvay pretendió continuar con ellas, haciéndolas extensivas a la química, que celebraría sus Consejos por separado, así como establecer unos Institutos Internacionales de Física y de Química Solvay que se ocupasen de «promocionar las investigaciones encaminadas a ampliar y sobre todo a profundizar el conocimiento de los fenómenos naturales», especialmente en los campos de la física y la química física.12

El primer instituto en crearse fue el de Física, fundado en la primavera de 1912. El Instituto de Química se creó después, en mayo de 1913, pero únicamente debido a que Solvay no encontró ni en Wilhelm Ostwald ni en William Ramsay, a quienes encargó que se ocupasen de la cuestión, la misma colaboración que había hallado para el de Física

en Nernst y Lorentz. Mientras que el Instituto de Física funcionaba independientemente de cualquier otra organización, la dirección del de Química estaba confiada a la Asociación Internacional de Sociedades Químicas, que había sido establecida en 1911; de hecho, la fundación del Instituto de Química tuvo como consecuencia que se instalase en Bruselas el Secretariado Central permanente de la Asociación.[13] No obstante, después de la guerra la Asociación desapareció, y el Instituto decidió adoptar una línea de independencia parecida a la del Instituto de Física; además la institución que sustituyó a la asociación disuelta, la Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquée, que, al ser excluidas las sociedades químicas de las potencias centrales, se había constituido en 1919 bajo los auspicios del Conseil International des Recherches (Consejo Internacional de Investigaciones), decidió que su sede fuese, al menos provisionalmente, París.

En cuanto a los Conseils de Chimie (Consejos de Química), el primero no se celebró hasta abril de 1922. No estuvo dedicado —al igual que ocurrió con el tercero— a ningún tema específico, pero de hecho predominaron las discusiones químico-físicas. El segundo Consejo tuvo lugar en 1925, abordando el tema de «Estructura y actividad», y el tercero en 1928. Tomados en su conjunto, constituyen una muestra magnífica del cambio de rumbo sufrido por la química: mientras que la del siglo XIX había estado preocupada sobre todo por el análisis de los compuestos químicos, por determinar su composición y estructura funcional, a comienzos del nuevo siglo las cuestiones de dinámica molecular, esto es, la química-física, pasó a figurar en el centro de la disciplina.[14]

El «Manifiesto de los 93»

Acabamos de ver en la sección anterior cómo fueron aumentando las relaciones y agrupaciones internacionales en el mundo de la ciencia a partir de finales del siglo XIX. Sin embargo, la Primera Guerra Mundial detendría

semejante tendencia.

Una de las consecuencias de las guerras es que condicionan el juicio de los ciudadanos de las naciones involucradas. La Primera Guerra Mundial no constituyó una excepción en este sentido, si acaso más bien lo contrario. En una contienda en modo alguno inevitable, de orígenes y causas oscuras, las pasiones nacionalistas no escasearon. El caso de los científicos, que es el que a nosotros nos interesa, también confirma esa regla, aparentemente inevitable si creemos en ese pertinaz maestro que es la historia. Nunca sufrió tanto la creencia en la internacionalidad de la ciencia, en la hermandad supranacional de los científicos, como durante los años en que tuvo lugar la Gran Guerra y en los que la siguieron. Y si hay que buscar quiénes «tiraron la primera piedra», en esta ocasión sí hay respuesta: los alemanes.

Para hacernos una idea del ambiente que se creó al poco de comenzar la guerra, y de cómo los científicos no eran inmunes a ese ambiente, veamos lo que apuntó en sus memorias el físico germano de origen judío Max Born, con quien ya nos encontramos y probablemente uno de los nacionalistas más ecuánimes:[15]

> En 1914 tuvo lugar un estallido patriótico de entusiasmo en todos los países. En Gotinga lo tuvimos en todo su apogeo: banderas, desfiles y canciones. Las tropas desfilaban por las calles entre las gentes que les lanzaban flores. Banderas por todas partes, en las calles y en los trenes que llevaban a los soldados al frente... El delirio patriótico se vio acompañado de rumores incontrolados y de una caza de espías: se decía que los pozos estaban envenenados, los caballos del regimiento paralizados, los puentes dinamitados. Todos los extranjeros fueron puestos bajo custodia... Los periódicos estaban repletos de artículos patrióticos. Yo odiaba la guerra, pero no podía escapar a la influencia de la propaganda. Creía, como todos los demás, que Alemania había sido atacada, que estaba luchando por una causa noble y que su existencia estaba en juego...
>
> No puedo negar que durante aquel tiempo me sentí muy en contra de los ingleses, de los franceses y sobre todo de los rusos. Todos los días nos contaban las abominables atrocidades de los cosacos de la Prusia del Este. La idea de estas «hordas asiáticas»

> destruyendo los agradables y ordenados pueblos alemanes torturaba a las mujeres y niños y a mí me enfurecía.

Otra de las manifestaciones del nacionalismo que espontáneamente brotó en Born no sólo en los primeros momentos de la guerra, sino durante bastante más, es la circular en la que explicaba la decisión de la revista *Physikalische Zeitschrift*, de la que era uno de los editores, de publicar los nombres de los colegas que estaban luchando en el frente, y de aquellos que habían sido condecorados, heridos o muertos. En esa circular —que envió en primera instancia el 23 de noviembre de 1914, y en segunda el 2 de febrero de 1915— Born explicaba que «también la física se une a la patria en este tiempo de peligro».[16] De hecho, las publicaciones de las asociaciones de matemáticos, químicos o ingenieros eléctricos también presentaban informaciones similares.

En esta atmósfera de excitación, el 4 de octubre de 1914, movidos en parte por las negativas repercusiones que había tenido en el mundo la invasión de Bélgica, 93 intelectuales alemanes daban a conocer lo que denominaron *Aufruf an die Kulturwelt* (*Llamamiento al mundo civilizado*). El escritor Ludwig Fulda preparó el primer borrador, su colega Hermann Sudermann lo editó y el novelista berlinés Georg Reicke compuso la versión definitiva, que, traducida inmediatamente a diez idiomas, fue enviada en miles de cartas a naciones neutrales. Mucho más que cualquier otro hecho, este documento enturbiaría durante años las relaciones entre los científicos de las Potencias Centrales (los alemanes en particular) y los Aliados. Dada su importancia, es necesario reproducir su contenido:[17]

> Nosotros, representantes de la ciencia y el arte alemanes, delante de todo el mundo, contra las mentiras y calumnias detrás de las que nuestros enemigos pretenden ocultar la causa pura de Alemania, en la difícil lucha que se le ha impuesto... proclamamos la verdad.
>
> *No es verdad* que Alemania haya sido la causante de la guerra. Ni el pueblo, ni el gobierno, ni el emperador la han querido. Se

ha hecho todo lo posible por evitarla desde la parte alemana. El mundo posee sobre esta cuestión documentos irrefutables. A lo largo de los veintiséis años de su reinado, Guillermo II ha demostrado muchas veces que es el protector de la paz mundial; muchas veces sus adversarios lo han reconocido. Y durante años se han burlado de este mismo emperador, que ahora osan llamar un Atila, a causa de su amor a la paz. Sólo ha sido cuando fuerzas dominantes, que desde hace mucho tiempo se encontraban al acecho en nuestras fronteras, se han lanzado sobre nuestro pueblo desde tres flancos, que éste se ha levantado como un solo hombre.

No es verdad que hayamos violado de una manera criminal la neutralidad de Bélgica. Nos habríamos destruido a nosotros mismos si hubiésemos tomado la delantera.

No es cierto que nuestros soldados hayan tocado la vida y la propiedad de un solo ciudadano belga sin haber sido empujados a ello por sus defensores. Porque, todavía y siempre, a pesar de todas las advertencias, la población les ha preparado emboscadas para disparar sobre ellos, mutilando heridos, asesinando médicos mientras desempeñaban su obra de samaritanos.

No es verdad que nuestras tropas hayan saqueado brutalmente Lovaina. Ellas se han visto obligadas a tomar represalias contra los habitantes furiosos que les han asesinado traidoramente, y con un corazón cariacontecido han bombardeado la ciudad. La mayor parte de Lovaina ha sido conservada. El célebre Ayuntamiento permanece brillantemente intacto. Con peligro de sus vidas, nuestros soldados lo han protegido de las llamas. Si se han destruido obras de arte durante esta guerra terrible, si otras seguirán el mismo camino, todo alemán lo lamentará. Pero mientras que no nos dejaremos sobrepasar por nadie en lo que al amor al arte se refiere, rechazamos exponernos a una derrota por la conservación de un monumento artístico.

No es verdad que nuestra forma de hacer la guerra ignore el derecho de gentes. Tal forma no conoce crueldades indisciplinadas.

No es verdad que la lucha contra lo que se ha llamado nuestro militarismo no sea una lucha contra nuestra cultura, como pretenden hipócritamente nuestros enemigos. Sin el militarismo alemán, la cultura alemana habría desaparecido de la faz de la tierra hace mucho tiempo. Es para proteger esa cultura, que un país que durante siglos ha sufrido más invasiones que ningún otro, ha salido de sus fronteras. El ejército y el pueblo alemanes forman una unidad. Semejante convicción une hoy día a 70

millones de alemanes, sin distinción de educación, condición social y partido.

No podemos arrancar de nuestros enemigos el arma envenenada de la mentira. Lo único que podemos hacer es proclamar en el mundo entero que han presentado un falso testimonio; y es a vosotros, que nos conocéis, que hasta ahora habéis vigilado con nosotros los bienes supremos de la humanidad, a quienes apelamos.

¡Creednos! Creed que llevaremos el combate hasta el final, como un pueblo cultivado al que la herencia de Goethe, de Beethoven y de Kant es tan sagrada como su hogar y su tierra. Nos hacemos garantes de ello con nuestro nombre y nuestro honor.

Entre los firmantes de este llamamiento figuraban quince científicos: Adolf von Baeyer (catedrático de Química, Múnich), Karl Engler (catedrático de Química, Karlsruhe), Emil Fischer (catedrático de Química, Berlín), Wilhelm Förster (catedrático de Astronomía, Berlín), Fritz Haber (catedrático de Química, Berlín), Ernst Haeckel (catedrático de Zoología, Jena), Gustav Hellmann (catedrático de Meteorología, Berlín), Felix Klein (catedrático de Matemáticas, Gotinga), Philipp Lenard (catedrático de Física, Heidelberg), Walther Nernst (catedrático de Química-Física, Berlín), Wilhelm Ostwald (catedrático de Química, Leipzig), Max Planck (catedrático de Física, Berlín), Wilhelm Röntgen (catedrático de Física, Múnich), Wilhelm Wien (catedrático de Física, Wurzburgo) y Richard Willstätter (catedrático de Química, Berlín). De los grandes nombres de la ciencia germana sólo el matemático David Hilbert rehusó firmar.[18]

Los restantes firmantes se repartían de la siguiente manera: diecisiete artistas, doce teólogos (entre los que figuraba el célebre Adolf von Harnack, director general de la Biblioteca Estatal de Berlín, encargado también de dirigir la política cultural de Prusia en estrecha colaboración con el responsable de los asuntos universitarios del ministerio prusiano de Cultura, Theodor Althoff), nueve poetas, siete historiadores, siete juristas, siete médicos (incluyendo al conocido Paul Ehrlich, premio Nobel de Medicina y

Fisiología en 1908 y catedrático de Bacteriología de la Universidad de Berlín), cinco escritores de temas artísticos, cuatro filósofos, cuatro filólogos, tres músicos, dos politólogos y el director del Deutschen Theaters de Berlín.

En la atmósfera que reinaba entonces en Alemania era difícil —y arriesgado— oponerse públicamente a semejante declaración (en otros países tampoco era fácil defender posiciones no beligerantes, como demuestra el caso de Bertrand Russell en Inglaterra).[19] Sin embargo, pocos días después de su publicación un destacado pacifista alemán, Georg Friedrich Nicolai (1874-1964), catedrático de Fisiología en la Universidad de Berlín, preparó una réplica que hizo circular entre sus colegas universitarios. Sólo tres personas se adhirieron a ella: Albert Einstein, ya instalado en Berlín procedente de Zúrich, y Wilhelm Förster (1832-1921), antiguo director del Observatorio de Berlín, uno de los principales inspiradores de la Sociedad Ética Alemana, y que, como hemos visto, ¡también había firmado el «Manifiesto de los 93».[20] El documento en cuestión, titulado *Aufruf an die Europäer* (*Manifiesto a los europeos*), fue distribuido a mediados de octubre y únicamente un estudiante de filosofía en Marburg, Otto Buck (1873-1966), se solidarizó con él y ninguna publicación independiente lo difundió. Como constituye un excelente ejemplo del pacifismo que luchaba por abrirse paso en aquellos años, lo reproduzco a continuación:[21]

> Nunca jamás una guerra ha interrumpido tan intensamente la cooperación cultural. Y lo ha hecho en el mismo momento en que el progreso de la técnica y de las comunicaciones sugiere claramente que reconozcamos la necesidad de relaciones internacionales que necesariamente se dirigirán en la dirección de una civilización universal. Tal vez somos tan penosa e intensamente conscientes de la ruptura porque ya existían lazos de relación internacionales muy numerosos.
>
> Difícilmente podemos sorprendernos. Todo aquel al que le importe algo una cultura mundial común está doblemente comprometido a luchar por el mantenimiento de los principios en que se basa. Y sin embargo, aquellos en quienes habría que haber supuesto tales sentimientos —principalmente los

científicos y los artistas— hasta el momento han dicho casi exclusivamente cosas que hacen sospechar que han abandonado el deseo de que continúen las relaciones internacionales. Se han expresado con un espíritu hostil; no han hablado en defensa de la paz.

Esa actitud no se puede disculpar en nombre de ninguna pasión nacional, es indigna de lo que hasta ahora el mundo ha denominado cultura, y si se convirtiese en la pauta general entre los intelectuales sería una profunda desgracia. Pero no sólo una desgracia para la cultura, sino que —de ello estamos firmemente convencidos— también haría peligrar la propia existencia de las naciones para cuya protección se ha desencadenado esta barbarie.

La tecnología ha empequeñecido el mundo. De hecho, las naciones de la gran península europea parecen hoy estar tan próximas como en los viejos tiempos lo estaban las ciudades-estado de cada una de las pequeñas penínsulas mediterráneas. Viajar está tan difundido, la exportación y la importación internacionales tan interrelacionadas, que Europa —casi se podría decir, el mundo entero— constituye una unidad.

Sería, pues, un deber de los europeos con educación y buena voluntad intentar al menos impedir que Europa sucumba, por una falta de organización internacional, al mismo destino trágico que en otro tiempo destruyó a Grecia. ¿Debe agotarse poco a poco Europa y morir por una guerra fratricida?

La guerra que ruge difícilmente puede dar un vencedor; todas las naciones que participan en ella pagarán, con toda probabilidad, un precio extremadamente alto. Por consiguiente, parece no sólo sabio sino obligado para los hombres instruidos de todas las naciones que ejerzan su influencia para que se firme un tratado de paz que no lleve en sí los gérmenes de guerras futuras, cualquiera que sea el final del presente conflicto. La inestable y fluida situación en Europa, creada por la guerra, debe utilizarse para transformar el continente en una unidad orgánica. Técnica e intelectualmente, las condiciones están maduras para tal proceso.

Éste no es el lugar para discutir cómo se puede lograr esa nueva organización. Nuestro único propósito es afirmar nuestra profunda convicción de que ha llegado el momento de que Europa se una para defender su territorio, su gente y su cultura. Estamos manifestando públicamente nuestra fe en la unidad europea, una fe que creemos es compartida por muchos; esperamos que esta afirmación pública de nuestra fe pueda contribuir al crecimiento de un movimiento poderoso hacia tal

unidad.

El primer paso en esa dirección sería que unan sus fuerzas todos aquellos que aman realmente la cultura de Europa; todos aquellos a los que Goethe proféticamente llamó «buenos europeos». No debemos abandonar la esperanza de que, hablando al unísono, su voz pueda, incluso hoy, elevarse por encima del choque de las armas, en particular si se les unen aquellos que ya disfrutan de renombre y autoridad.

El primer paso, lo repetimos, es que los europeos unan fuerzas. Si como es nuestra esperanza más profunda, se encuentran suficientes *europeos* —gente para la que Europa es una causa vital, más que un término geográfico— en Europa, nos dedicaremos a organizar una Liga de Europeos. Esta Liga podría entonces levantar su voz y ponerse en acción.

Lo único que pretendemos nosotros es realizar el primer movimiento, lanzar el reto. Si piensa como nosotros, si también está decidido a crear un amplio movimiento en favor de la unidad europea, entonces le rogamos que contribuya con su firma.

Sin embargo, y como ya indiqué, el manifiesto no encontró apenas apoyo. Según Nicolai, «aun cuando encontramos numerosas aprobaciones en el envío privado del manifiesto, ni los que lo aprobaban querían firmarlo: a uno le parecía que el pasaje sobre Grecia no era históricamente del todo exacto, otro opinaba que tal manifiesto era demasiado tardío, otro que era demasiado prematuro; otro consideraba inoportuno que la ciencia se mezclase con el comercio mundano, etc. Pero la mayoría era demasiado cobarde o pensaba de otra manera. Incluso los mejores alemanes no querían por aquellos días convertirse en buenos europeos, o no se atrevían. Pero como el manifiesto sólo podía tomar valor si era apoyado por la autoridad de hombres reconocidos, dejamos de lado nuestro plan».[22]

Volviendo al «Manifiesto de los 93», tenemos que produjo inmediatamente violentas reacciones, especialmente entre los franceses, que por otra parte no se caracterizaban por sentir un gran amor por la cultura germana.[23] Menos de un mes después de la publicación del manifiesto, el 3 de noviembre de 1914, la Académie des

Sciences declaraba que:

> La Academia tiene que recordar que las civilizaciones latinas y anglosajonas son las que han producido durante tres siglos la mayor parte de los grandes descubrimientos en las ciencias matemáticas, físicas y naturales, siendo asimismo las autoras de las principales invenciones realizadas a lo largo del siglo XIX. La Academia protesta, por consiguiente, contra la pretensión de ligar el futuro intelectual de Europa con el futuro de la ciencia alemana, y contra la afirmación de que la salud de la civilización europea se encuentra en la victoria del militarismo alemán, solidario de la cultura alemana.

La indignación francesa continuó creciendo, y un profesor, Gabriel Petit, acompañado de un periodista de *Le Figaro*, Maurice Leudet, se encargaron de coordinar una obra colectiva en la que 28 especialistas (todos menos uno —William Ramsay— franceses) manifestaban su opinión sobre la ciencia alemana. El libro apareció en 1916 con el título *Les allemands et la science*.[24] Naturalmente, casi todas las opiniones que se recogían sobre las contribuciones de los científicos alemanes eran muy críticas, mientras que se aprovechaba la ocasión para ensalzar la ciencia francesa.[25] En el prefacio, Paul Deschanel, de la Académie Française y presidente de la Cámara de Diputados, afirmaba que «en la concepción germánica, la ciencia, la historia, la filosofía, la religión son fuerzas nacionales, como la Armada, la diplomacia, el crédito. Desde este punto de vista, la ciencia no es algo universal y humano, sino un servicio del Estado. Como Alemania debe dominar a las otras naciones, la "ciencia alemana", debe ser superior a la de los otros pueblos. En palabras de Fustel de Coulanges, "el interés de Alemania es el fin último de sus infatigables investigadores"». Por su parte los coordinadores aprovechaban el prólogo para indicar que el *Llamamiento al mundo civilizado* no era sino una muestra más de «hasta qué punto el alma alemana sigue siendo bárbara, bajo la máscara insolente de la "*Kultur*"».

Al tratar el tema de «La guerra y la paleontología», Marcellin Boule, del Museo Nacional de Historia Natural,

reconocía que la ciencia alemana «por su extensión, masa y modo en que está organizada... funciona como una inmensa fábrica industrial, perfectamente engrasada... sabe extraer admirablemente de un principio nuevo o de un gran descubrimiento teórico —casi siempre venido de fuera— todas las consecuencias de orden material que permiten aumentar la potencia industrial, militar y política alemana». Ahí, sin embargo, se acababa su superioridad. Para Boule, a esa ciencia, «más medio que fin, le falta nobleza. Es de calidad inferior. Sus producciones no son a menudo más que meritorias pero oscuras tareas preliminares; pesados trabajos de detalle, memorias copiosas, indigestas, colmadas de cosas inútiles; monstruosos andamiajes, pero no monumentos». Observando que Francia había estado intentando imitar los procedimientos germanos, el profesor del Museo de Ciencias Naturales exclamaba: «¡Qué falta de sentido y de gusto! ¿Cómo es posible que nuestros compatriotas no se hayan dado cuenta de que el pensamiento alemán es tan oscuro y pesado como el idioma que sirve para traducirlo; que el espíritu francés es claro como nuestra lengua, sutil como el aire de nuestro país?».

La idea de que los alemanes eran más continuadores que creadores era repetida con frecuencia en esta obra (vimos en el capítulo anterior que Hale había utilizado también este argumento en su carta de junio de 1915 a Welch). A. Dastre, presidente de la Sociedad de Biología y miembro de la Academia de Medicina, insistía en que en el dominio de la electricidad y las radiaciones los auténticos creadores eran los Galvani, Volta, Ampère, Faraday, Maxwell, Becquerel y Curie, nombres a los que únicamente se podía añadir el de un teutón, Röntgen. Y análogamente en matemáticas, química (en donde se acusaba, además, a Ostwald y a Nernst de intentar minimizar las aportaciones de Lavoisier), ciencias naturales y fisiología experimental, disciplina esta última en la que, se apuntaba, «la producción alemana no supera una honesta mediocridad».

En las dos últimas páginas de su contribución («La historia de las ciencias y las pretensiones alemanas»), el

matemático Émile Picard, profesor en la Sorbona y uno de los oponentes más vehementes a la ciencia germana, dejaba a un lado el pasado y el presente para preocuparse por el futuro.[26] Su propuesta era radical: «En el orden intelectual... es deseable cesar lo más pronto posible toda relación intelectual con Alemania, que seguirá siendo el enemigo de mañana, no soñando más que encontrar la ocasión que hoy no ha encontrado». En ese sentido, Picard proponía reformar los congresos internacionales: «Se debe esperar que llegaremos a organizar con nuestros aliados y amigos congresos de los que Alemania será excluida, debido a que, por su barbarie, se ha situado fuera de las naciones civilizadas». De este punto, de cómo se pretendió marginar a los científicos de las Potencias Centrales, me ocuparé a continuación.

La ruptura del internacionalismo en las relaciones entre científicos: el Consejo Internacional de Investigaciones

Los sentimientos creados —o liberados— ya durante los primeros compases de la Primera Guerra Mundial en científicos de ambos bandos tuvieron consecuencias profundas en la posguerra para las relaciones internacionales que habían mantenido hasta el comienzo de las hostilidades.

La Asociación Internacional de Academias no sobrevivió, como ya apunté, a la guerra. La Asamblea General (la quinta) celebrada en 1913 había confiado la organización de la siguiente Asamblea, y por consiguiente la presidencia temporal, a la Academia Prusiana de Ciencias. Poco después de que comenzase la guerra, la Academia berlinesa comunicó que estaría de acuerdo en que se transfiriese provisionalmente la presidencia a una academia neutral, proponiendo Ámsterdam. Todo parecía ir bien, hasta que los franceses exigieron que esa solución fuese definitiva. Los alemanes se negaron a ello, y se entró en un punto muerto.[27]

Al llegar a este punto no puedo sino señalar que en la

historia de las relaciones entre científicos durante la posguerra, una historia, por cierto, biliosa y con frecuencia subterránea, en donde en última instancia es difícil hablar de víctimas y de verdugos, la actitud francesa, mantenida con una constancia merecedora de mejor causa, destacó por rencorosa y mezquina, aunque naturalmente también se dieron excepciones.[28] Al constatar semejante comportamiento, viene a la memoria aquella célebre —y como se ve perfectamente ajustada y representativa— caracterización que con su admirable prosa el economista John Maynard Keynes realizó de Georges Clemenceau, el primer ministro francés, en su famosa obra *The Economic Consequences of the Peace* (*Las consecuencias económicas de la paz*):[29]

> Sentía acerca de Francia lo mismo que Pericles sintió por Atenas... pero su teoría política era la de Bismarck. Sólo tenía una ilusión: Francia; y una desilusión: la humanidad, incluyendo a los franceses, y no menos a sus colegas. Sus principios para la paz pueden expresarse de manera sencilla. En primer lugar, creía ardientemente en que la psicología alemana es tal que el alemán no entiende ni puede entender nada que no sea la intimidación, que no tiene generosidad ni remordimientos cuando negocia, que no existe ventaja que no tome de ti, ni límite para degradarse con tal de extraer beneficio, que no tiene ni honor, ni orgullo ni misericordia. Por consiguiente, uno no debe negociar nunca con un alemán o reconciliarse con él; debe imponerse a él.

La intransigencia francesa se vio reforzada por la actitud que, tras la entrada de Estados Unidos en la guerra, tomó la National Academy of Sciences estadounidense. El principal portavoz de la Academy, su secretario, el astrónomo George Hale, que hasta entonces había adoptado una actitud bastante comprensiva, oponiéndose a la idea de condenar en bloque a los científicos alemanes, cambió de postura. Ahora la exclusión de alemanes y austríacos de las organizaciones internacionales le parecía razonable, opinión a la que también se unieron los británicos. Ahora bien, no era posible llevar a cabo semejante acción dentro

de la Asociación Internacional de Academias, por lo que las tres potencias aliadas decidieron fundar una nueva organización: el Conseil International de Recherches (Consejo Internacional de Investigaciones; CII), que en la práctica significó el final de la antigua Asociación.

El nuevo Consejo surgió de tres reuniones, en las que además de los aliados tomaron parte algunos representantes de naciones neutrales. La primera reunión tuvo lugar en Londres en octubre de 1918; la segunda, en París, en diciembre, y la tercera en Bruselas, en julio de 1919. Fue en la segunda, la de París, cuando se decidió formalmente crear la nueva organización, y mantenerla en existencia hasta 1931, cuando se reconsideraría formalmente la situación. Se adhirieron inicialmente a ella la Académie des Sciences de París, la Reale Accademia dei Lincei de Roma, la Royal Society de Londres, la National Academy of Sciences de Washington y la Académie Royale de Bélgica.

Los halcones, científicos como Émile Picard, secretario perpetuo de la Académie des Sciences, o el matemático italiano Vito Volterra, incluso el físico británico Arthur Schuster, secretario de la Royal Society, no obstante ser de origen alemán, dominaron (Picard fue elegido presidente del Comité Ejecutivo, y Schuster secretario general, y con ellos, como vicepresidentes, Volterra, Hale y G. Lecointe, de la Académie Royale de Bélgica). Las siguientes frases, pronunciadas por Picard durante la reunión de París, dan idea de los sentimientos que animaban a estos científicos:[30] «Debemos permanecer unidos no solamente hasta el final de la guerra... sino en un futuro que debe considerarse como indefinido. Únicamente de esta forma tendremos la posibilidad de ver establecida sobre la superficie de nuestro planeta una paz auténticamente definitiva, así como de estar preparados contra los regresos ofensivos de una barbarie que continuará manteniendo su carácter amenazante, intentando todavía golpear en el corazón de las razas moralmente superiores de la humanidad». Consecuentemente, las naciones de las Potencias Centrales fueron excluidas, estando inicialmente representados en la

Asamblea General los siguientes países: Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Grecia, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Polonia, Portugal, Rumania, Sudáfrica y Serbia; esto es, países que habían sido beligerantes en el lado de los Aliados o estrechamente asociados con ellos.[31]

La política de marginación defendida por el CII se refería a todos los pensadores centroeuropeos, a científicos al igual que a humanistas. Sin embargo, fue en el dominio de la ciencia donde tal actitud se plasmó de manera más evidente. La razón es obvia: era en las ciencias de la naturaleza donde tenía lugar un mayor intercambio de ideas; las humanidades eran menos cosmopolitas, menos dependientes de relaciones universales. El que siendo así, fueran precisamente científicos los que más se significaran en la defensa de las posturas más radicales, muestra en toda su crudeza la brecha abierta por la guerra.[32]

Incluso en las propuestas recibidas por la Fundación Nobel para la concesión de sus premios de Física y Química se detectan las consecuencias de la guerra. Desde el punto de vista de las propuestas, el período 1901-1914 constituyó una Edad de Oro del internacionalismo. En un principio, cuando el prestigio y sistema de concesión de los premios se estaba consolidando, la mayoría de las propuestas (no muy numerosas, por otra parte: entre 25 y 40 anuales para cada premio) eran en favor de candidatos de la misma nacionalidad que quien hacía la propuesta. Sin embargo, a partir de 1905 y hasta 1915, las presentaciones reflejan el fuerte internacionalismo de la época. La guerra cambió todo: en 1915 y 1916 el ciento por ciento de las propuestas alemanas fueron en favor de candidatos germanos, cuando durante los dos años anteriores las proporciones habían sido del 64 y 70 por 100, respectivamente. Análogamente, estadounidenses y británicos aumentaron sustancialmente el número de autopropuestas. El caso de los franceses es algo diferente: no incrementaron su siempre alto coeficiente endogámico (el más alto de los cuatro grandes),[33] pero de todas maneras también se dieron entre ellos situaciones

realmente llamativas, como la protagonizada por el físico-matemático Marcel Brillouin, que propuso a trece compatriotas suyos para el premio de Física de 1916. En la posguerra no cambió apreciablemente la proporción de autopropuestas que se dio durante los años de guerra. Entre 1921 y 1925 se mantuvo entre el 70 y el 80 por 100; los científicos de las Potencias Centrales recibieron pocas propuestas de los Aliados, mucho menos en química (1 por 100) que en física (14 por 100), aunque en este caso las cifras están un tanto descabaladas por la candidatura de Einstein. En el caso de la química hay que pensar tal vez en los recuerdos de la guerra química. A partir de 1926 las proporciones se restablecieron relativamente: del mencionado 14 por 100 del período anterior en física, se pasó a un 20 por 100 para los años 1926-1933, y del 1 por 100 en química al 4. Por su parte, en este mismo período el 18 por 100 de los votos para físicos de las naciones aliadas procedió de sus antiguos enemigos; 12 por 100 en el caso de los químicos.

Según los reglamentos de la Fundación Nobel, los resultados de las nominaciones no son vinculantes; de hecho, en general no suelen coincidir los más que han recibido más propuestas con los premiados. Esta característica de los galardones permitió a la Academia sueca mantener su internacionalismo, como se mostró cuando en 1919 concedió los premios correspondientes a 1918. Como ya indiqué en el capítulo anterior, el premio de Química fue a parar al químico acaso más odiado en aquel momento por los aliados: Fritz Haber. Sin duda lo merecía, pero no era una decisión política, y además hay que tener en cuenta que se tenían excusas para no concedérselo: Haber no recibió aquel año más que una propuesta (de su compatriota el experto en física de medios continuos y aeronáutica Ludwig Prandtl); por el contrario, el británico Frederick Soddy (al que se le otorgaría el premio en 1921 por sus estudios sobre los elementos radiactivos) y el suizo P. A. Gaye recibieron dos cada uno.[34]

Pasando ahora a los congresos científicos

internacionales, tenemos que, de aproximadamente 195 que se celebraron entre 1920 y 1924, 129 —esto es, casi dos tercios— tuvieron lugar sin participación de alemanes y austríacos, lo que da idea de la aceptación que, al menos inicialmente, tuvieron las tesis de los científicos aliados.[35] Los Consejos de Física Solvay formaron parte de ese grupo. Me detendré un momento en ellos, ya que constituyen un buen ejemplo para comprobar, en un caso concreto, las consecuencias de la guerra en las relaciones entre científicos.

Las consecuencias de la guerra vistas a través de los Congresos de Física Solvay

Cuatro días antes del asesinato de Francisco Fernando, esto es, el 24 de junio de 1914, el Comité Científico Solvay se había reunido. El 4 de agosto, Bélgica era invadida y Lorentz escribía a Paul Heger, amigo de Solvay, el día 13:[36] «Pienso continuamente en su país y en su valiente defensa contra un ataque para el cual no había dado el menor motivo. Yo tenía esperanzas que no veríamos esta guerra que se esperaba desde hacía tanto tiempo, y he aquí que ha comenzado de la manera más atroz que se pueda imaginar, violando los derechos de un pueblo libre que mantenía buenas relaciones con todas las naciones».

Las actividades del Instituto Solvay y de los Consejos prácticamente se paralizaron durante la guerra. Al terminar ésta, se planteó inmediatamente el problema de la relación con los científicos centroeuropeos, un tema particularmente delicado habida cuenta de que Bélgica había sido invadida por los alemanes. El 10 de enero de 1919, Lorentz se dirigía a Solvay abordando la cuestión:

> ¿Podrá el Instituto de Física ser útil continuando en la vía que le ha sido encomendada en sus estatutos, esto es, promoviendo investigaciones científicas en el dominio de la física y la química-física, y celebrando de vez en cuando reuniones destinadas a una discusión profunda de los grandes problemas

actuales? Yo no dudo en responder afirmativamente. Ahora que el mundo va a reconstruirse, las ciencias físicas deberán jugar —estoy convencido— un papel cada vez más importante; el hombre no podrá vivir sin ellas y faltaría a uno de sus principales deberes si no buscase penetrar los secretos de la naturaleza y descubrir ante todo la verdad...

Contribuyendo así al progreso de la Ciencia, el Instituto podrá tener una influencia *indirecta* desde el punto de vista moral y social...

¿Qué actitud hay que tomar hacia los alemanes? La miseria y los sufrimientos que han esparcido por el mundo, las injusticias y las atrocidades cometidas por su gobierno y por sus Fuerzas Armadas, aborrecidas con justicia por todas las gentes honestas, han producido sobre mí —lo sabe usted muy bien— una impresión muy fuerte y dolorosa. Así, comprendo perfectamente que en este momento los sabios belgas y franceses no deseen tener ninguna relación más con ellos; durante los primeros años no podrá haber lugar para ellos en el Instituto de Física. Los que han asistido a los Consejos de Física, comprenderán ellos mismos que no pueden ir a Bruselas, y si hubiese otros que tuviesen la desvergüenza de hacerlo, nos repugnarían precisamente por ello.

De todas maneras, al hablar de los alemanes no debemos perder de vista que existen excepciones. Un hombre como Einstein, el gran y profundo físico, no es en absoluto un «alemán» en el sentido que se da ahora a esta palabra; su juicio sobre los acontecimientos de los últimos años no difiere en nada del suyo o del mío. También hay varios físicos que no han querido firmar el manifiesto escandaloso de los 93; en una conversación que tuve con él en la primavera de 1915, Warburg me ha expresado vivamente su desaprobación. Es cierto que algunos de los firmantes volverían a hacer lo mismo si se presentase la ocasión, pero estoy seguro que otros muchos lamentan en el fondo de su corazón la ligereza con que prestaron su nombre a esta publicación...

Considerándolo bien, creo mi deber proponerle no excluir formalmente a los alemanes; esto es, no cerrarles la puerta para siempre. Espero que se pueda abrir a una nueva generación, e incluso, acaso en el curso de los años, que sea posible admitir a aquellos sabios de nuestra época que se pueda creer que lamentan sincera y honestamente los acontecimientos que han tenido lugar. Es de esta manera como la ciencia alemana podrá recuperar el lugar que, a pesar de todo, merece por sus antecedentes.

Los Consejos de Física Solvay se reanudaron en 1921: entre el 1 y el 6 de abril de aquel año tuvo lugar el tercer congreso. Sin embargo, no sería hasta el quinto Consejo (24-29 de octubre de 1927) cuando volverían a participar científicos de las potencias centrales. El movimiento en favor de su readmisión se vio favorecido por los desarrollos políticos. Tras el Pacto de Locarno en octubre de 1925, Alemania entraba en 1926 en la Sociedad de las Naciones. Ante la perspectiva de una nueva atmósfera, Lorentz se entrevistó el 2 de abril de aquel mismo año con el rey Alberto de Bélgica. He aquí los términos en los que el científico holandés relató al día siguiente su entrevista con el monarca:37 «Su Majestad ha expresado la opinión de que, siete años después de la guerra, los sentimientos que ha provocado deben dulcificarse poco a poco; que para el futuro es absolutamente necesario un mejor entendimiento con los pueblos y que la ciencia puede contribuir a lograrlo. También ha señalado que visto todo lo que los alemanes han hecho en física, sería muy difícil continuar sin ellos».

Efectivamente, habría sido imposible evitar su presencia en el Consejo que tendría lugar el año siguiente sin desvirtuar por completo la naturaleza de la reunión, ya que el tema que se iba a debatir eran los «Electrones y fotones», difícilmente abordable sin recurrir a la nueva mecánica cuántica, desarrollada gracias, principalmente, a los trabajos de físicos alemanes y austríacos como Heisenberg, Schrödinger, Born, Pauli, Einstein o Planck (todos ellos asistieron a la reunión).38

El orgullo herido de los científicos alemanes

La postura defendida por el Consejo Internacional de Investigaciones se abrió camino en principio con cierta facilidad. La capacidad de acción de las naciones neutrales (Checoslovaquia, Dinamarca, España, Finlandia, Holanda, Noruega, Suecia, Suiza), de las que podría haber surgido cierta resistencia, no era muy grande. Por otra parte, los propios científicos alemanes no favorecían tampoco una

vuelta a relaciones más cordiales. Para ellos, la ciencia era, al fin y al cabo, lo más preciado que le quedaba a Alemania. Habían sido derrotados militarmente, se había producido una profunda crisis política y económica, pero su ciencia seguía siendo —estaban firmemente convencidos de ello— la mejor. El 14 de noviembre de 1918, tres días después de que se firmase el armisticio, tuvo lugar una reunión plenaria de la Academia Prusiana de Ciencias. Max Planck abrió la sesión con las siguientes palabras, que muestran con claridad el orgullo que sentía por la ciencia de su derrotada nación:[39] «Cuando nuestros enemigos han quitado a nuestra patria toda defensa y poder, cuando graves crisis internas amenazan al Estado, existiendo la posibilidad de que otras aún más graves nos esperen en el futuro, existe una cosa que ningún enemigo, ni foráneo ni doméstico, pudo quitarnos: la posición que la ciencia alemana ocupa en el mundo».

Ocho años más tarde, Fritz Haber seguía repitiendo lo mismo:[40] «Sabemos perfectamente que hemos perdido la guerra y que política al igual que económicamente ya no nos sentamos en el consejo de directores del mundo. Pero creemos que científicamente todavía podemos contarnos entre aquellos pueblos que tienen derecho a ser reconocidos entre las naciones principales».

Con tales sentimientos no nos debe sorprender que los científicos alemanes no se esforzasen demasiado en ser incluidos ni en el nuevo Consejo que se estaba creando, ni en los congresos internacionales que se celebraban bajo el patrocinio aliado. Podían considerar que no eran ellos los que más perdían, sino los otros, aquellos que les habían derrotado militarmente. Era su forma de venganza, al igual que la de los aliados era excluirlos. Curiosa situación en la que un mismo hecho deja, aparentemente, contentos a los dos bandos, cuando lo que cada uno pretendía era perjudicar gravemente al otro.

Además, el boicot no fue lo suficientemente poderoso como para impedir que se produjesen relaciones personales. Como señaló Paul Forman, existe suficiente evidencia que

muestra que detrás del nivel de las relaciones internacionales formales, los científicos germanos tuvieron acceso a una amplia red de contactos con colegas de otras naciones. Así, el astrofísico estadounidense Charles St. John, que tomaba parte activamente en las actividades del CII y en su Unión Astronómica, señalaba, después de haber viajado por Alemania en el verano de 1922, que creía que «sería posible trabajar juntos de manera no oficial, de forma que seremos capaces de coordinar el trabajo sobre las longitudes de onda en Alemania, al igual que en otras partes, hasta que se reestablezcan totalmente las relaciones».41 Poco después de este viaje de St. John, el físico alemán Arnold Sommerfeld visitaba Estados Unidos, invitado por la Universidad de Wisconsin, en Madison, para dictar un ciclo de conferencias, que tuvo gran éxito. Allí aprovechó para mantener conversaciones sobre la difícil situación en que se encontraba Alemania después del Tratado de Versalles. «Mi inglés aún es tan deficiente», explicaba a Einstein en una carta, «que hasta el momento debo mantenerme alejado de las discusiones políticas. En el futuro, sin embargo, pienso hablar también sobre cuestiones políticas con las personas que se me acercan. Al menos esta posibilidad fue decisiva cuando acepté la invitación de Wisconsin.»42

La invitación cursada a Sommerfeld es todavía más significativa si tenemos en cuenta que cuando, cuatro años después, el Comité Solvay envió invitaciones a físicos alemanes para que asistieran al quinto Consejo Solvay, al que ya me he referido, el profesor de Múnich no figuraba entre los destinatarios, a pesar de sus indudables méritos en el desarrollo de la física cuántica. El motivo de tal exclusión fue que Sommerfeld apoyó durante la guerra los esfuerzos de las autoridades alemanas por fomentar el nacionalismo cultural y separatismo político flamenco, con el deseo de «una anexión voluntaria y, por consiguiente, mucho más íntima de esa parte de Bélgica que tan valiosa es para nosotros».43 Para una reunión científica que se iba a celebrar en Bruselas, estas credenciales importaban hasta el

punto de la exclusión, no así para ser invitado individualmente a una nación aliada, más importante desde el punto de vista científico que la capital belga.

Pronto, además, el interés de británicos, norteamericanos y neutrales por mantener el resentimiento de franceses y belgas se fue desvaneciendo. En junio de 1925, Lorentz presentaba a la tercera Asamblea General del CII una propuesta de las Academias de Dinamarca, Suecia y Holanda para que se anulase la cláusula existente en los estatutos que prohibía la admisión de las Potencias Centrales. La propuesta fue derrotada, pero no por ello se dejó de seguir hablando del asunto. El año siguiente miembros de la Academia de Ciencias de Ámsterdam hablaron con Planck y otros colegas suyos para averiguar cuáles serían las condiciones de los alemanes para aceptar entrar a formar parte del CII. La respuesta de éstos no fue demasiado alentadora: querían que la invitación fuese «positiva» y que viniese acompañada de una declaración que afirmase que las razones originales de su exclusión eran «anuladas»; que Alemania y Austria tuvieran una proporción adecuada en los puestos representativos del Consejo y de sus Uniones y que el idioma alemán fuera permitido en los congresos.[44]

Por entonces, como mencioné a propósito de los Consejos de Física Solvay, Alemania entraba en la Sociedad de las Naciones. Enfrentado con las iniciativas de los políticos, al Consejo Internacional de Investigaciones le resultaba complicado mantener el boicot. En consecuencia, se corrigieron los estatutos y se invitó a Alemania y a Austria a formar parte de la organización. El gobierno alemán animó a sus académicos a que aceptasen la invitación, pero éstos no la consideraron suficiente y rehusaron. No se adherirían de manera completa al Consejo hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

El Comité Internacional de Cooperación Intelectual

Aunque existiesen algunas conexiones, el CII no era

una institución vinculada orgánicamente a los gobiernos nacionales de las academias que formaban parte de él; en este sentido, no se trataba de un organismo oficial. En este hecho, así como, naturalmente, en su particular origen y diseño, se encuentra una buena parte de la explicación de la postura de intransigencia que defendió durante años. Sin embargo, otras instituciones, que obedecían a modelos completamente diferentes, también se interesaron por las relaciones entre los intelectuales y científicos de los distintos países. La Sociedad de las Naciones, la gran organización supranacional sugerida por el presidente Wilson que comenzó a funcionar en 1920, aunque sus estatutos habían sido redactados en febrero de 1919, no olvidó esa dimensión de las relaciones internacionales. Tras un período de indefinición, en 1922 se estableció el Comité Internacional de Cooperación Intelectual (CICI), «para examinar las cuestiones relacionadas con la cooperación intelectual y para desarrollar las relaciones internacionales en el orden internacional». Estaba compuesto por doce miembros, personalidades eminentes de las ciencias, las letras y las artes, y se reunió por primera vez el 1 de agosto de 1922, presidido por el filósofo francés Henri Bergson (que dimitió a finales de 1925, sucediéndole Hendrik Lorentz a partir de la reunión de enero de 1926). Entre los primeros miembros figuraban los científicos Albert Einstein (que no asistió a la primera reunión), Marie Curie y George Hale, además del ingeniero español Leonardo Torres Quevedo (Lorentz se incorporó a ella en julio de 1923).[45] En julio de 1926, Julio Casares, miembro de la Real Academia Española, sustituyó a Torres Quevedo.

Sin embargo, la existencia de este CICI no significó un cambio sustancial en las relaciones internacionales mantenidas por los científicos de ambos bandos. Su voluntad universalista se enfrentó desde el primer momento a un dilema: si se abría a los alemanes, posiblemente ganaría su colaboración, sin tener que enfrentarse a las reticencias que encontró el CII cuando a partir de 1926 se mostró dispuesto a levantarles el veto. Pero si hacía esto, se

encontraría por el otro lado con la oposición abierta del CII, con cuyos planteamientos no podía, por otra parte, coincidir sin socavar sus propias convicciones (de hecho el CII no había visto con buenos ojos la creación del CICI; y menos aún el que no pudiese colocar entre los doce miembros nada más que a uno de los suyos, a Hale). Ante tal dilema hizo lo que suele hacerse con frecuencia en casos semejantes: evitar cuidadosamente involucrarse en proyectos que tocasen el problema alemán explícitamente, y ocuparse de cuestiones más asépticas, como la organización de la bibliografía científica, el desarrollo del esperanto, los derechos de propiedad intelectual o la situación social y profesional de los trabajadores intelectuales.[46] En otras palabras: el internacionalismo del CICI resultó ser más una fachada que una realidad operativa.

Una muestra temprana de las dificultades que iba a encontrar el Comité se encuentra en la designación de Einstein como uno de sus doce miembros. Veamos lo que manifestó en 1957, poco antes de su muerte, Gilbert Murray, el profesor de Filología griega de la Universidad de Oxford que actuaba como presidente suplente del CICI:[47]

> Yo estaba naturalmente deseoso de que Einstein fuese miembro del Comité de Cooperación Intelectual, en parte porque, de alguna manera, así contaría como un alemán, y en parte por su eminencia, pero existían dos o tres obstáculos: algunos de mis colegas franceses objetaban a tener tan pronto a un alemán, mientras que algunos alemanes argumentaban que no era en absoluto un alemán, sino un judío suizo [como sabemos, Einstein había obtenido la nacionalidad suiza en 1901]. Otra dificultad era la propia desconfianza de Einstein con respecto al Comité de Cooperación Intelectual al que veía como meramente un comité formado por los vencedores.

Poco después de haber aceptado formar parte del Comité, Einstein cambió de opinión y dimitió. Sin embargo, bajo la presión de sus colegas reconsideró su decisión. Un año después, no obstante, volvía a dimitir debido a la ocupación de la región del Ruhr. En su carta de dimisión

señalaba que se había «convencido de que la Sociedad de las Naciones no tenía ni la voluntad, ni la fuerza necesarias para cumplir su misión, y que no estaba bien que un pacifista [como él] mantuviese relaciones con ella». Un año más tarde Einstein volvía a reintegrarse al Comité.

La República de Weimar

Los últimos momentos de la Primera Guerra Mundial significaron para Alemania una acumulación progresiva de situaciones revolucionarias de las que nacería, pocos meses después, la República de Weimar. En gran medida esas situaciones surgieron no tanto de una firme tradición política como del cansancio y desmoralización producidos por la guerra y por la inminente derrota. La pérdida de poder de líderes como Ludendorff y Hindenburg y el hecho de que las masas considerasen al káiser como el motivo de sus desgracias pasadas y presentes, así como el obstáculo más importante para la firma de un armisticio con las Potencias Aliadas, hizo que el orden establecido quedara virtualmente colapsado. El 28 de octubre de 1918 la flota alemana se negaba a zarpar de Kiel; los marineros izaban banderas rojas. La rápida difusión a través de toda Alemania de consejos de trabajadores y soldados que seguían el modelo de la reciente revolución rusa aumentó la confusión.

En esta situación, el káiser abdicó, huyendo a Holanda con su familia. El 9 de noviembre, los ministros socialdemócratas, que habían entrado por primera vez en el gobierno del Reich un mes antes, proclamaban la República. El 10 se constituía un nuevo gobierno. El 11 se firmaba el armisticio que acababa con la guerra.

En enero de 1919 estallaba en Berlín una rebelión espartaquista que fue reducida con dureza por el gobierno provisional socialdemócrata. Rosa Luxemburgo y Karl Liebknecht, los líderes de la Liga Espartaquista, eran asesinados por un grupo de oficiales derechistas. En esta situación se celebraron las elecciones para una Asamblea

Nacional. El partido socialdemócrata no obtuvo la mayoría necesaria y tuvo, por consiguiente, que coaligarse con demócratas y centristas. Ebert fue nombrado primer presidente de la República. Como Berlín se consideraba una ciudad demasiado peligrosa, la Asamblea Nacional se instaló en Weimar, aunque el gobierno permaneció en la capital. Era la «República de Weimar», cuya constitución fue aprobada el 31 de julio de 1919.

La nueva República se encontró inmediatamente con un conjunto de circunstancias que hicieron todavía más profunda la herida producida por la derrota. Las condiciones que estableció el Tratado de Versalles (firmado el 28 de junio de 1919) fueron consideradas como una afrenta por la mayoría del pueblo alemán. Además de liquidar prácticamente el imperio colonial alemán, el tratado amputó una séptima parte del territorio que poseía Alemania antes de la guerra, así como una décima parte de su población. Alsacia y Lorena debían ser devueltas a Francia, que pasaba a ocupar el territorio alemán al oeste del Rin, ocupación que debería irse deshaciendo gradualmente en tres etapas a lo largo de quince años. El Sarre, con su carbón, también dejaba de ser administrado por Alemania durante quince años, al cabo de los cuales un referéndum decidiría su destino. Asimismo, en el este otro referéndum establecería el destino de la Alta Silesia. Por si fuera poco, los alemanes se veían obligados a tratar a Polonia, a quien habían dominado durante años, como si fuera una gran potencia. En cuanto a pagos directos, se fijó una indemnización de 132.000 millones de marcos oro, más el 26 por 100 en impuestos a la exportación, a recaudar a lo largo de cuarenta y dos años.

A todo esto hay que unir otros hechos, como, por ejemplo, el que franceses y belgas ampliasen en varias ocasiones la extensión del territorio que ocupaban como venganza por infracciones al Tratado de Versalles (la más seria de estas acciones fue la ocupación de la región del Ruhr desde el 11 de enero de 1923 hasta finales de 1924).

En general, es imposible no reconocer que el

tratamiento que los vencedores (unos tal vez más que otros) infligieron a los vencidos contribuyó a abonar el terreno del que surgiría Adolf Hitler. En su magnífico estudio sobre la Segunda Guerra Mundial, Winston Churchill, que había dirigido al pueblo británico en aquella lucha, reconocía este hecho cuando escribía:[48]

> Hasta el año 1936, los conquistadores mantuvieron un poder indiscutible en Europa y, de hecho, en todo el mundo. No hubo ningún momento, durante estos dieciséis años, en los que los tres antiguos aliados, o incluso Gran Bretaña y Francia con sus aliados europeos, no hubieran podido controlar, en nombre de la Sociedad de Naciones y al amparo de su escudo moral e internacional, por un mero esfuerzo de la voluntad, la potencia armada de Alemania. Pero en cambio, hasta 1931, los vencedores, y sobre todo Estados Unidos, concentraron sus esfuerzos en arrancarle a Alemania, mediante enojosos controles extranjeros, las indemnizaciones anuales. El hecho de que estos pagos se realizaran sólo a través de préstamos estadounidenses mucho más voluminosos hacía que todo el proceso resultara absurdo. No se cosechó nada más que inquina. En cambio, si en cualquier momento hasta 1934 se hubiese exigido el estricto cumplimiento de las cláusulas de desarme del tratado de paz, esto habría salvaguardado de forma indefinida, sin violencia ni derramamiento de sangre, la paz y la seguridad de la humanidad. Pero nadie les prestó atención mientras las violaciones fueron insignificantes y, cuando adquirieron proporciones graves, las rehuyeron. De este modo se perdió la última garantía de una paz duradera. Los crímenes de los vencidos encuentran su razón de ser y su explicación, aunque sin duda no su perdón, en las locuras de los vencedores, sin las cuales no habrían existido ni la tentación ni la oportunidad para el crimen.

Retornando ahora a la República de Weimar, tenemos que la inestabilidad política y social que reinó durante ella se puede caracterizar de diferentes maneras. Según un cálculo, entre 1919 y 1924, se cometieron en Alemania 376 crímenes políticos, 354 de los cuales atribuidos a simpatizantes de la derecha. En el mismo período de tiempo, se sucedieron doce gabinetes ministeriales diferentes en Berlín.[49]

Pero si la situación político-social era mala, la económica era para los ciudadanos, incluyendo a los profesores, simplemente catastrófica. La inflación generada por la guerra y las condiciones impuestas en Versalles fueron de una magnitud hasta entonces sin precedentes en la historia. Inmediatamente antes de la Primera Guerra Mundial, en 1913, el marco alemán, el chelín inglés, la lira italiana y el franco francés valían, aproximadamente, lo mismo, y un dólar equivalía poco más o menos a cuatro veces cada uno de ellos. El año siguiente al armisticio el marco bajó a menos del 10 por 100 de su valor anterior, manteniéndose ahí hasta 1921, momento en que comenzó su caída en picado. Al final de 1923, poco antes de que se lograse la estabilización con la introducción del *Rentenmark*, era posible cambiar un chelín, una lira o un franco por más de ¡un billón de marcos!, aunque, por supuesto, nadie estaba dispuesto a aceptar marcos.[50] Naturalmente, no fue sólo en Alemania en donde se produjo inflación; en Austria los precios llegaron a subir 14.000 veces su valor anterior a la guerra; 2.500.000 en Polonia, 4.000 millones en Rusia. Pero es el caso germano el más extremo; por otra parte, es el único que me interesa aquí, dada la importancia de la ciencia alemana.[51]

Los motivos de la hiperinflación germana fueron diversos y complejos; así, distintas escuelas, como la bancaria y la monetarista, han ofrecido diferentes explicaciones.[52] Pero no hay duda de que las reparaciones de guerra constituían el principal problema. Veamos un ejemplo. En el verano y otoño de 1922 las entregas alemanas de compensaciones en especie, sobre todo las de carbón y postes de telégrafos, se retrasaron. En represalia, en enero de 1923 las tropas francesas y belgas cruzaron la frontera ocupando el Ruhr. Sin embargo, los mineros y los trabajadores de esa región se declararon en huelga. Con objeto de ayudarles, el gobierno alemán imprimió más dinero y la inflación, que ya había comenzado a acelerarse a partir de junio de 1922, alcanzó niveles hiperinflacionarios.

Sería fácil adjudicar toda la responsabilidad de la difícil situación económica que se dio en la República de Weimar a la intransigencia francesa y belga, más aún teniendo en mente los avisos que Keynes había realizado en *Las consecuencias económicas de la paz*, pero también hay que tener en cuenta las dificultades económicas de los Aliados. Para ayudar a comprender los sentimientos, no ya emocionales, sino económicos que prevalecían al finalizar la guerra, y que explican en parte la actitud tomada en Versalles, veamos algunos datos que se presentaron ante una audiencia científica británica: el discurso, muy moderado, que el presidente de la sección F («Ciencia económica y estadística»), Hugh Bell, de la British Association for the Advancement of Science, pronunció durante el congreso celebrado en Bournemouth, entre el 9 y el 13 de septiembre de 1919 (era el primero que se celebraba desde 1916).53 Al referirse a la deuda pública, Bell señalaba que había crecido de una manera espantosa. «De poco más de 900 millones de libras en 1816, cayó a 628 millones en 1899. Existieron períodos en los que la caída se detuvo. En 1905 había subido a 798 millones (una cifra comparable a la de treinta y cinco años antes). La guerra de los bóers fue la principal responsable, pero no la única, de este aumento. En 1914 [era de 710 millones y] se encontraba lejos del punto más bajo de toda la historia, pero en los once años anteriores, todos los años menos uno habían mostrado una marcada reducción.» Durante la guerra todo esto había cambiado: «De agosto de 1914 a marzo de 1915, se añadieron 450 millones de libras. El año siguiente sumó más de 1.000 millones. En marzo de 1917, la deuda era de 3.906 millones, y en la actualidad casi se ha doblado y es más de diez veces mayor que la existente al comienzo de la guerra».

Aunque Bell reconocía que Gran Bretaña había actuado como «agente financiero» de sus aliados, «encontrando para ellos» sumas cercanas a los 2.000 millones, por otra parte se tenía que ella misma había contraído deudas por valor de 1.550 millones. «En conjunto, por consiguiente, estamos

interesados en recibir entre 400 y 500 millones de libras.»

En resumen: la economía mundial había padecido mucho durante la contienda y los vencedores podían intentar resolver sus problemas imponiendo sus términos a los perdedores.

Penuria entre los mandarines alemanes

La inflación golpeó a los profesores y científicos alemanes con dureza. Por un lado, sus ahorros, como los de todos los rentistas, se esfumaron. Por otro, los salarios que recibían del Estado figuraban, como los de la mayoría de los funcionarios, entre los que peor mantenían el poder adquisitivo. (Obviamente, esto se refiere a los funcionarios, a estamentos como los de *ordinarius* y *extraordinarius*; los *privatdozenten*, que se tenían que ganar todo su salario ofreciendo sus enseñanzas, se encontraban mucho peor.) Unos párrafos de la autobiografía de Richard Willstätter sirven para apreciar la situación en que llegaron a encontrarse los profesores germanos (recordemos —ya lo mencioné en el capítulo precedente— que Willstätter había ganado el premio Nobel de Química en 1915 y que desde 1916 ocupaba un puesto importante: catedrático y director del Laboratorio de Química de la Universidad de Múnich):[54]

> Ya en diciembre de 1922 no tenía dinero suficiente para los regalos de Navidad. Los grandes bancos no habían entendido la inflación. Desde comienzos de diciembre hasta los alrededores de mediados de enero, no recibí ningún aviso del banco en el que la universidad solía depositar nuestras distintas ganancias. Como necesitaba dinero, protesté; entonces se me informó de que «para evitar a los clientes el alto coste del correo, a partir de ahora solamente enviaremos una notificación al mes». El secretario general de la universidad, Krebs, poseía un conocimiento más sutil de la inflación que los bancos; demoraba los pagos bastante más de un mes, incluso varios. Las cuotas de los cursos, e incluso de los exámenes se pagaban entonces tan tarde que, en una época de inflación acusada,

quedaban despojados de todo valor.

Si los profesores padecían personalmente las consecuencias de la inflación, también sufrían profesionalmente. Se trataba, no lo olvidemos, de personas que necesitaban comprar revistas y libros (con menos regularidad, pero con cierta frecuencia también instrumentos) extranjeros, incluso viajar a otros países. Pero el cambio de moneda era demasiado oneroso. Y, como vimos, tampoco podían esperar ayudas de sus colegas de las naciones aliadas. Incluso aunque prescindiesen de todo lo que estuviese relacionado con el extranjero, ¿cómo proveer sus propios laboratorios?

Ideológicamente, la mayor parte de los profesores-mandarines alemanes hicieron todo lo posible para oponerse al nuevo régimen.[55] En general, el mundo académico se dividía en un pequeño grupo de moderados que apoyaban a la República, y una mayoría que iba de los conservadores hasta los reaccionarios y nacionalistas extremos, que continuaban manteniendo, como en 1914, posturas claramente anexionistas. En términos de militancia política, la mayoría estaba cerca del Deutschnationale Volkspartei (Partido Popular Nacional Alemán), y cuando no eran tan intransigentes, del Deutsche Volkspartei (Partido Popular Alemán); ambos partidos habían votado en contra de la Constitución de Weimar. La actitud de esa mayoría se debía no sólo, ni siquiera principalmente, a los problemas económicos a que se veían enfrentados, sino a que ellos veían en la República el riesgo de la proletarización de la sociedad, del final del Estado fuertemente burocratizado y jerarquizado a que estaban acostumbrados. Asimismo, acusaban a la República de Weimar de haber firmado un humillante Tratado en Versalles, así como de considerar rebajar las exigencias de entrada en las universidades, y de animarles a aceptar la para ellos vejatoria oferta de admisión que les hizo el CII en 1926.

Entre los físicos y químicos, los moderados y liberales más famosos se encontraban en la capital, en Berlín.

Einstein y Nernst eran prominentes demócratas, mientras que Haber, Heinrich Rubens y Emil Warburg contaban entre los moderados, al igual que Planck, von Laue o Emil Fischer, por mucho que mantuviesen su lealtad y simpatía al viejo régimen. En el otro extremo se encontraban reaccionarios y nacionalistas como los físicos Philipp Lenard, profesor de la Universidad de Heidelberg, y Johannes Stark, de la Universidad de Greifswald (más tarde de la de Wurzburgo), ambos galardonados con el premio Nobel, a quien nos volveremos a encontrar en el próximo capítulo por su militancia en las filas nazis. Entremedias, se podían encontrar nacionalistas moderados como Arnold Sommerfeld (Múnich), que se sorprendió y dolió cuando se enteró de que Einstein, a quien admiraba y quería, creía «en la nueva era y [quiere] colaborar en ella».[56]

Es interesante mencionar un último punto.[57] En la posguerra los sentimientos derechistas y los antisemitas se unieron. Muchos de los académicos de origen judío eran demócratas, y en el caso de ser radicales, eran radicales de izquierda. Varias son las razones de este hecho. En primer lugar, que los programas de los partidos antidemocráticos de la derecha eran, declarada o implícitamente, claramente antisemitas. En segundo lugar, al judío cultivado y emancipado le resultaba más difícil que a otros caer en otro tipo de nacionalismo, el alemán en este caso, identificándose más bien con la «humanidad». Pero fuese por el motivo que fuese, el hecho es que dentro de los medios universitarios (y fuera de ellos también) el prejuicio en contra de los judíos se asoció con la repulsa a la República. «Tenemos que agradecer a los judíos la revolución», era una frase que Richard Willstätter tuvo que escuchar con frecuencia entre sus colegas.[58] También es conocida la famosa respuesta que Planck recibió, en mayo de 1933, de Hitler cuando fue a interceder ante el *Führer* en favor de sus colegas judíos: «No tenemos nada en contra de los judíos, como tales. Pero todos los judíos son comunistas».[59]

¿Estaba arruinada Alemania?

En las secciones anteriores he esbozado un panorama aparentemente desolador de Alemania durante la República de Weimar. Sin embargo, si se lee con cuidado lo que he escrito se verá que he introducido, en varios lugares, algunas expresiones que pretenden prevenir contra conclusiones demasiado precipitadas y generales. A pesar del clima de incertidumbre que existía, de las convulsiones políticas, de la desorganización y problemas económicos, de la pérdida de una parte importante y valiosa de su territorio, Alemania no estaba arruinada. Las dificultades eran mayores para los ciudadanos, para su poder adquisitivo, que para las grandes actividades industriales y comerciales. En este hecho se encuentra la explicación de que Alemania pudiese continuar manteniendo en buena medida su liderazgo científico, especialmente en las ciencias físicas y químicas.

Las industrias químicas y electrotécnicas (esto es, industrias basadas en conocimientos científicos) figuran entre las que más prosperaron durante la posguerra. En su informe para el año que terminaba el 30 de septiembre de 1922, el grupo Siemens (Siemens und Halske A. G., Siemens-Schuckertwerke G.m.b.H.) señalaba la gran expansión en plantas y capacidad productiva que se estaba llevando a cabo en la industria alemana, mencionando también su propio papel en el proceso: «La industria química nos ha encargado construir una planta para la explotación progresiva de métodos para extraer el nitrógeno atmosférico. Hay que señalar, además, numerosas ampliaciones de estaciones eléctricas, que suministran alumbrado al público». Como apuntaba el informe, era la industria química la que mayores beneficios estaba obteniendo. En 1925 se vio que las principales compañías químicas (BASF, F. Bayer & Co., Hochster Farben, Agfa) habían aumentado el capital que tenían en 1913 entre 2,5 y 2,7 veces.

Ahora bien, ¿a qué se debió esta prosperidad

industrial?60 En primer lugar, a la propia inflación. Al crecer de día en día —en algunos momentos de hora en hora— los precios, la gente, que no recibía sus salarios con el mismo ritmo, se apresuraba a transformar sus sueldos en bienes. Así, en el momento cumbre de la inflación, la actividad comercial dentro de Alemania era el doble que antes de comenzar la guerra.

En segundo lugar, tenemos que hasta finales del verano de 1923 el ritmo al que aumentaban los precios y salarios dentro del país y la variación del cambio del dólar eran tales que los productos importados resultaban entre dos y cuatro veces más caros que los domésticos. La consecuencia era que la industria nacional tenía prácticamente asegurado todo el mercado, sin necesidad de imponer ningún tipo de arancel. Recíprocamente, los costes de producción de los fabricantes germanos resultaban ser tan bajos que podían competir en posiciones ventajosas en los mercados extranjeros.

Una consecuencia de la hiperinflación es un dinamismo extremado en los precios. No es raro que en una situación tan fluida algún servicio, o bien, se quede estancado y vea disminuido radicalmente su valor. En la Alemania de la República de Weimar el precio de los alquileres de viviendas fue probablemente el servicio que más sufrió. Un funcionario de los de escala superior, que en 1914 empleaba el 16 por 100 de su salario en alojamiento, gastaba sólo el 5 por 100 por la misma casa en 1920. En los casos más modestos (y más numerosos) de una familia típica de la clase trabajadora, el contraste era todavía más marcado: en 1914 dedicaba el 20 por 100 de sus ganancias a alojamiento, por 0,4 por 100 a finales de 1922. Este hecho nos lleva al tercer punto en la explicación de la prosperidad industrial. El aumento de salarios tendía, por imperiosa necesidad, a estar estrechamente vinculado al crecimiento del coste de la vida, desarrollándose mecanismos para que así fuese. Si se producían desajustes como el que acabo de indicar con la vivienda, los salarios tenían que aumentar menos, lo que significaba beneficios

para el patrón.

Otra consecuencia de la inflación fue el que cuando las industrias tenían que devolver los préstamos que les habían concedido los bancos, el valor de la cantidad inicial había disminuido radicalmente, incluyendo los préstamos que el Reichsbank mantuvo hasta 1923 en el, entonces ridículo, valor del 5 por 100. Cuando terminó la inflación los bancos alemanes habían perdido entre el 60 y el 80 por 100 de su capital, cediendo a los grandes grupos industriales el liderazgo económico que hasta entonces habían mantenido. Por decirlo de alguna manera, no demasiado exacta: Alemania se hacía más industrial y menos financiera. Un cambio que tal vez podía favorecer a la ciencia.

El gobierno y la industria se movilizan a favor de la ciencia[61]

Antes de la Primera Guerra Mundial ya se habían constituido organizaciones para apoyar a la ciencia. La más importante fue la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft, con la que ya nos encontramos en el capítulo 2. Otro ejemplo notable, el primero de su tipo, fue la Göttinger Vereinigung zur Forderung der angewandten Physik und Mathematik (Asociación de Gotinga para el Desarrollo de la Matemática y Física Aplicadas), que organizó el matemático Felix Klein (1849-1925) en 1898.[62] Más que promover investigaciones específicas, apoyando a científicos particulares, la Asociación se ocupaba de la creación y mantenimiento de institutos en los que se investigase y enseñase en temas definidos, muy al estilo —preocupaciones educativas excluidas— de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft. Aunque llegó a tener casi cincuenta industriales como miembros, el alma de la organización —Klein aparte— fue un químico, Henry Böttinger, director general de la Bayer; cuando él murió, en junio de 1920, la Gottinger Vereinigung terminó disolviéndose.

De todas maneras, hasta el establecimiento de la República de Weimar la principal fuente de financiación para la investigación básica fueron, de lejos, los gobiernos

de los distintos *Länder* (estados), que mantenían universidades, academias e institutos. La acción del Reich se centraba en unas pocas instituciones, principalmente el Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Comparadas con estas aportaciones, la contribución de la industria era muy pequeña.

En la posguerra, este reparto de papeles cambiaría bastante. Aunque no desapareció la intervención de los *Länder*, el papel del Reich y de la industria alemana en el desarrollo científico aumentó considerablemente, temporalmente en el caso de la industria, de manera más duradera en el del Reich.

En una situación, si no totalmente revolucionaria, sí extremadamente fluida, como la que reinaba en la República de Weimar, surgieron iniciativas para apoyar a la ciencia, cuyos profesionales se encontraban, como acabamos de ver, en dificultades. Uno de los que más se distinguió en este dominio fue Fritz Haber.

A comienzos de 1920, Haber presentó a la Asamblea Nacional, a través de la Academia de Berlín y en nombre de todos los académicos germanos, una solicitud de 3 millones de marcos. En parte por motivos formales, la solicitud fue rechazada. No se desanimó, sin embargo, el célebre químico, que en abril comenzó a defender la idea de una organización en la que participasen como miembros todas las agrupaciones alemanas relacionadas con la ciencia (universidades, escuelas técnicas superiores, la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft y la Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte). Al Reich, representado por el Ministerio del Interior, le agradó la idea. Era una buena forma de pasar a desempeñar un papel más importante en la promoción y control del desarrollo científico. Entre las causas posibles para tal receptividad, cabe pensar en que la guerra había revelado con claridad la importancia que tenía la ciencia para el poder central, responsable de las Fuerzas Armadas; además, no hay que olvidar que en medio de la humillación nacida de la derrota, la ciencia había visto reforzada su posición al poder ser utilizada como muestra

de hegemonía cultural. El 30 de octubre de 1920, cuarenta miembros distinguidos del mundo académico germano, reunidos en la Biblioteca del Estado Prusiano, constituían formalmente la Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (Asociación de Emergencia para la Ciencia Alemana; NGW), presidida por el político Friedrich Schmidt-Ott (había sido ministro de Educación con el káiser, en 1917). Tres semanas más tarde, la nueva organización fue presentada en el Reichstag. El capital con que el Reich la dotó fue de 20 millones de marcos. Sin embargo, la devaluación de la moneda disminuyó rápidamente el valor de ese capital, que mientras que en junio equivalía a medio millón de dólares, en noviembre valía la mitad. El Reich, no obstante, accedió a considerar los 20 millones como correspondientes al presupuesto de 1920-1921, y a aportar otros 20 millones para el año fiscal 1921-1922. Pero la inflación continuó y hasta la estabilización, la acción de la NGW se vio dificultada considerablemente (el Reich intentó durante un tiempo ir actualizando su aportación, pero terminó por desistir de este empeño imposible).

La política seguida por la Notgemeinschaft, que mantuvo esencialmente intacta hasta 1933, cuando Hitler llegó al poder, fue la de apoyar a la investigación científica a través de investigadores individuales (preferentemente jóvenes), no a instituciones educativas. La principal excepción a esta regla consistió en aportar dinero para adquirir revistas extranjeras para las bibliotecas (de universidades y academias) alemanas. Durante los años de la inflación, los fondos de la NGW se distribuyeron, aproximadamente, en un tercio para aparatos y otro tipo de material de laboratorio, un tercio para la compra de literatura científica extranjera y el tercio final en subsidios a las publicaciones alemanas. A lo largo de la inflación, la Notgemeinschaft también coordinó las ayudas extranjeras, las más importantes de las cuales procedieron del industrial japonés Hajime Hoshi, de la General Electric Company y, sobre todo, de la Fundación Rockefeller, que en 1933 había

aportado cerca de medio millón de dólares a la ciencia germana a través de la NGW.63

Sobrepasada la inflación, el papel de la NGW en la ciencia alemana adquirió todavía más importancia. Aunque nunca se pensó en ella como una agencia estatal que dirigiese la investigación nacional, se aproximó de hecho a ejecutar tal función, proponiendo, por ejemplo, al gobierno ambiciosos programas de investigación en medicina y ciencia de los materiales. Su presupuesto también creció, recibiendo el equivalente a entre 500.000 y 700.000 dólares anuales.

De la ayuda que dio la Notgemeinschaft a las ciencias físico-químicas por el momento sólo se conocen datos relativos a la física, disciplina que recibió aproximadamente durante la inflación 50.000 marcosoro anuales para proyectos individuales de investigación, más otros 100.000 en 1921-1922, para herramientas con que los institutos de física pudiesen construir sus propios aparatos. A partir de 1924 la cifra fue creciendo hasta alcanzar algo más de 200.000 marcos anuales para proyectos; para salarios a jóvenes físicos repartió entre finales de la década de los años veinte y principios de los treinta, entre 100.000 y 150.000 marcos anuales.64

La industria también se movilizó en favor de la ciencia alemana, aunque, como veremos, no con la constancia que cabría haber esperado dada su desahogada posición durante la inflación. Independientemente de otras consideraciones, un factor estimulaba este apoyo: la ley de impuestos aprobada en 1920 permitía que tanto individuos como compañías dedujesen de sus declaraciones de renta aquellas contribuciones que pudiesen haber realizado para promover actividades científicas, artísticas, religiosas o caritativas (la ley de 1925 ya no permitió estas deducciones). Pero, en cualquier caso, la industria podía permitirse ser generosa, ya que, como vimos, se estaba enriqueciendo durante la posguerra. Políticamente, además, apoyar a la ciencia le podía servir para combatir las críticas que recibía de los partidos de la izquierda, e incluso del centro, de que no

contribuía al desarrollo cultural de la nación.

Los proponentes de la NGW buscaban, además del apoyo del Reich, el de la industria, y de hecho poco después de que la Notgemeinschaft quedase constituida oficialmente, se formó una Stifterverband, o Asociación de Benefactores, que, presidida por Carl Friedrich von Siemens, el hijo más joven del gran Werner, solicitaba contribuciones de las principales asociaciones comerciales e industriales, decidiendo por su cuenta cada año cuánto daba a la Notgemeinschaft. Sin embargo, esta Stifterverband no aportó mucho a la NGW, no llegando a alcanzar nunca el 10 por 100 de la contribución del Reich.

Los industriales, en efecto, no estaban dispuestos a colaborar con la Notgemeinschaft. Pero sí querían auxiliar a la ciencia nacional. El vehículo elegido para semejante ayuda fue la Helmholtz-Gesellschaft zur Förderung der physikalisch-technischen Forschung (Sociedad Helmholtz para el Avance de la Investigación en Física Técnica; HG).

La Helmholtz-Gesellschaft existía en realidad desde 1913, pero fue a partir de su reorganización, sólo dos semanas después del establecimiento de la Stifterverband de la NGW, cuando comenzó a contribuir de manera significativa a la ciencia alemana. Los principales miembros de la nueva asociación fueron compañías del carbón, hierro y acero, así como los bancos asociados a ellas. Menos de un quinto del capital procedía de las industrias eléctricas y de producción de herramientas, que sin embargo podían esperar más retornos para su propia producción que aquéllas. Por su parte, la industria química participó con un noveno del capital. (Hay que tener en cuenta que la industria química había desarrollado hacía mucho, como sabemos, una buena relación con químicos universitarios, y que, además, la mayor parte de las firmas poseían sus propios laboratorios de investigación y desarrollo. Por otra parte, esa misma industria promovía otras asociaciones dedicadas a favorecer la investigación, publicación y educación químicas: la Justus-Liebig-Gesellschaft zur Förderung des Chemischen Unterrichts, la Emil-Fischer-

Gesellschaft zur Förderung der Chemischen Forschung y la Adolf-Baeyer-Gesellschaft zur Förderung der Chemischen Literatur. Si comparamos el apoyo que la Helmholtz-Gesellschaft prestó a la física y a la ingeniería y el que las anteriores fundaciones dieron a la química, nos encontramos con que este último fue cinco veces mayor. Durante la inflación las tres fundaciones perdieron casi todo su capital; después de 1924 sus presupuestos procedieron de unos impuestos a los que voluntariamente se sometían entre sesenta y cien compañías químicas: 0,80 marcos al año por empleado.65)

De acuerdo con los estatutos que se aprobaron para la HG, el propósito de la Asociación era «el avance de la investigación físico-técnica en las Hochschulen (Escuelas Superiores) alemanas». Podían ser miembros los individuos, asociaciones u organismos que aportasen bien 10.000 marcos de una vez o 1.000 cada año. La mayor parte de las decisiones estaban en manos de un consejo de administración (*Verwaltungsrat*) formado por una representación de los industriales y por otra de científicos; la representatividad de ambos se hace evidente si tenemos en cuenta que en el primer Consejo elegido aparecían once industriales frente a cuatro científicos. Uno de estos científicos era Wilhelm Wien, que poco después de participar en el primer *Verwaltungsrat* elaboró un *Aufruf* (*Llamamiento*) para distribuir a posibles futuros contribuyentes. Es interesante ver cómo entendía Wien la nueva Asociación:66

> Encontrándose paralizada la raza germana en casi todos los campos debido al declive económico, la ciencia alemana, hasta entonces sólida, se ve amenazada por la destrucción. La investigación física, que en décadas recientes había sido probablemente la disciplina de más éxito, está especialmente en peligro ya que debe conseguir equipos cada vez más caros...
>
> Si ... la investigación física en Alemania es obstaculizada, entonces la tecnología perderá el liderazgo científico al que debe la posición cumbre que ha alcanzado. No será ya entonces posible educar para la industria a los físicos que la mayoría de los campos necesitan en números cada vez mayores, y que solamente pueden ser educados enseñándoles también a

investigar.

El Estado, afirmaba Wien, había alcanzado los límites de su capacidad financiera cubriendo los costos de calefacción, luz, gas y agua para los laboratorios. En las circunstancias que se atravesaban, no se podía esperar que cubriese también los costes de la investigación, especialmente cuando los precios de los instrumentos se habían multiplicado por 15 ó 20: «Para permitir que la investigación física alemana siga existiendo, representantes de la industria y de la ciencia han fundado la Helmholtz-Gesellschaft. Su objetivo es apoyar a los institutos físicos de las Escuelas Superiores [*Hochschulen*] alemanas, proporcionándoles fondos para investigaciones. Por institutos físicos se debe entender no solamente aquellos que se dedican a problemas puramente científicos, sino también los que se ocupan de dominios de física aplicada como son las ciencias de los materiales, metalurgia, ingeniería mecánica para todas las ramas de la industria, e ingeniería eléctrica. Agrupándolos en una sola asociación física pura y aplicada, es previsible que estos dos campos, que son igualmente importantes para nuestro desarrollo futuro, avancen y se estimulen mutuamente. Contamos con ello, y con que la industria y tecnología alemana no dejen de entender que no pueden continuar creciendo sin la investigación física... Por consiguiente llamamos a todos aquellos interesados en la física pura y técnica, como la madre de todas las ramas mecánicas y eléctricas de la industria, para que contribuyan generosamente a la Helmholtz-Gesellschaft».

La solicitud de fondos no fue desatendida por la industria. En agosto de 1921 había recibido las cantidades siguientes:[67]

Industria	*Contribución (× 103 marcos)*
Minera	1.500
Hierro y acero	27.300
Acero inoxidable	300
Electrotécnica	20

Construcción de máquinas	21
Química	9.600
Óptica	26
Barcos	23.500
Varios	10
Miembros individuales	26
Total	73,5 millones de marcos

Se constituyó, en definitiva, un capital aproximadamente igual al que aportó el Reich a la Notgemeinschaft durante sus tres primeros años. Sin embargo, es importante señalar que con esta recogida inicial de fondos cesó prácticamente la acumulación de capital hasta 1928. Habida cuenta de la dinámica inflacionista y de la torpe política financiera seguida por la asociación que, con la excepción de 8 millones en bonos del Reich y 6 en acciones de AEG (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft), mantuvo la mayor parte de su capital en dinero, los fondos reales de la HG disminuyeron mucho más rápidamente que los de la Notgemeinschaft. En cuanto a cifras concretas, tenemos que en 1921-1922 se concedieron unos 2.400.000 marcos (equivalentes a alrededor de medio millón de marcos-oro) en 124 ayudas; en 1922-1923, 20 millones de marcos (en torno a 1,5 millones de marcos-oro) para 110 proyectos. A partir de ese año disminuyó drásticamente el número y la cuantía de las ayudas: oscilando entre las setenta y ochenta ayudas concedidas por un monto de entre 80.000 y 200.000 marcos. Ya nunca se recuperarían ni las cantidades ni las esperanzas iniciales.

Como vemos, tanto la Notgemeinschaft como la Helmholtz-Gesellschaft se esforzaron, aunque con diferentes tácticas y, a la larga, con distinto éxito, por auxiliar a la ciencia germana. Como tales asociaciones, e independientemente de sus logros, no se puede decir que constituyeran experiencias originales; las fundaciones estadounidenses hacía tiempo que habían comenzado sus andaduras. Sin embargo, en un aspecto tanto la NGW como la HG sí que se diferenciaban de las asociaciones de propósito parecido existentes entonces. Para repartir los

fondos de que disponían la Notgemeinschaft y la Helmholtz-Geselleschaft recurrieron a expertos, a científicos que evaluaban las solicitudes presentadas. Este sistema de arbitraje, común en la actualidad, constituyó una innovación de la República de Weimar. Estados Unidos, probablemente la nación en donde ese sistema ha alcanzado mayor fortuna, lo empleó de manera sistemática después de la Segunda Guerra Mundial. Hasta entonces, la distribución de las ayudas para la investigación del tipo que estoy discutiendo no estuvo en manos de los propios científicos, sino en las de los directores y oficiales de las fundaciones privadas (algunos, cierto es, antiguos científicos), individuos que en ocasiones poseían algún tipo de experiencia investigadora, pero en otras no.

Y puesto que he citado las fundaciones privadas, es obligado mencionar una de ellas, la Fundación Rockefeller, que contribuyó a la causa del internacionalismo en la ciencia, en general, y a la ciencia alemana en particular (ya señalé antes que en 1933 la fundación norteamericana donó cerca de medio millón de dólares a la ciencia germana a través de la NGW). De hecho, esta fundación fue una de las pocas que recurrió, al igual que los germanos, a la ayuda de expertos científicos (algunos de ellos oficiales de la organización) para evaluar las solicitudes que recibían.

Interludio: la Fundación Rockefeller

En realidad, más que hablar de la Fundación Rockefeller, es preciso referirse a la International Educational Board (Junta de Educación Internacional; IEB). Creada en 1923, la IEB fue el instrumento de la Fundación Rockefeller para distribuir importantes fondos tanto a científicos e instituciones estadounidenses como extranjeros. Inmediatamente después de su establecimiento, su director, Wickliffe Rose (1862-1931), viajó a Europa, visitando 19 países entre diciembre de 1923 y abril de 1924, con el propósito de informar a los principales científicos europeos del programa de becas de su institución

y también de conocer la situación de los centros científicos europeos. Sin entrar en detalles que me llevarían demasiado lejos, diré que los dominios científicos seleccionados por la IEB fueron las ciencias básicas (química, física, biología y matemáticas), desanimando explícitamente a los que deseaban presentar solicitudes en las disciplinas aplicadas (salvo en el caso de la agricultura).

La matemática alemana se vio especialmente favorecida por la IEB, que inició un programa de ayuda a esta disciplina en 1924, terminándolo en 1931. Durante esos años Alemania fue la nación que más se benefició: de un total de ciento treinta, veintitrés matemáticos germanos fueron becados para viajar al extranjero, por veinte estadounidenses, dieciséis franceses, siete soviéticos, cinco suizos, cuatro austríacos y luego ya números entre tres y uno de otras nacionalidades. Y si consideramos los lugares de destino de los becarios, Alemania también recibió muchos visitantes, veintisiete, menos, cierto es, que Francia, que acogió a treinta y uno, o que Estados Unidos, con treinta y siete.[68] Aunque el nivel de los matemáticos germanos era, en general, superior al de los de otros países, entre los que llegaron a Alemania con becas Rockefeller se encontraban algunos que aportaron bastante tanto a la matemática de sus naciones como a la mundial. Un caso particularmente señalado es el del húngaro John von Neumann (1903-1957), con el que nos volveremos a encontrar en este libro. Von Neumann, sin duda uno de los mejores matemáticos del siglo XX, llegó a Gotinga en 1926 para trabajar como ayudante de Hilbert, familiarizándose allí no sólo con cuestiones matemáticas sino también con la entonces recién desarrollada mecánica cuántica y los espacios de operadores funcionales (denominados «espacios de Hilbert») en los que estaba basada, lo que daría origen a su fundamental libro de 1932, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*.[69]

El mismo año en que llegó a Gotinga, von Neumann presentó su solicitud para habilitarse en la Universidad de Berlín. Una vez aprobada, se convirtió en *privatdozent* en

1927. En 1929 dejó Berlín, marchándose a Hamburgo, donde no permaneció mucho tiempo, ya que el mismo año fue invitado a la Universidad de Princeton, iniciándose de esta manera su relación —definitiva a la postre —con Estados Unidos.

Tomando en conjunto estos hechos, tenemos que, como ha señalado Reinhard Siegmund-Schultze, «aunque bajo las prohibiciones del boicot de los aliados después de la Primera Guerra Mundial, en la década de 1920, en particular, y gracias en parte a la ayuda de Rockefeller, la matemática alemana era posiblemente la más internacionalizada de todas las culturas matemáticas del mundo».70 Aunque este comentario es válido sobre todo para los matemáticos de Gotinga, que fueron los más apoyados por la International Educational Board, no para los de otros lugares (como Berlín).

Entre 1924 y 1926 la Universidad de Gotinga recibió 357.000 dólares para mejorar el equipo del Laboratorio de Física de Max Born y para construir en un lugar próximo a éste un nuevo Instituto de Matemáticas (fue inaugurado en noviembre de 1929, después de dos años y medio de construcción), que dirigiría inicialmente Richard Courant ya que Hermann Weyl había emigrado, algo que también terminarían haciendo Born y Courant. De esta forma, el Instituto de Gotinga, que se había establecido con Hilbert y Felix Klein (a los que siguieron otros tan notables como Hermann Minkowski —que falleció enseguida—, Hermann Weyl, Emmy Noether y Richard Courant), se convirtió en un centro de referencia mundial en la matemática. La matemática francesa también se vio beneficiada por la IEB, con un nuevo Instituto de Matemáticas, que recibió el apropiado nombre de Henri Poincaré (que todavía mantiene) y que abrió sus puertas un año antes que el de Gotinga, en noviembre de 1928.71

La ciencia, un valor social en crisis en la República de Weimar

A lo largo de este capítulo me he referido en diversas

ocasiones a la agitación social que reinaba durante la República de Weimar, especialmente en los años inmediatamente posteriores a la derrota y mientras duró la inflación. Sin embargo, mi análisis se ha centrado básicamente en los científicos y en la acción del Reich y de los industriales, es decir, en una élite cuya relación con la ciencia y la técnica no tenía que coincidir con la de los ciudadanos normales. La sociedad en su conjunto, los sentimientos y tendencias culturales que surgieron de ella, han permanecido en la trastienda de mi tratamiento. Cabe preguntarse, sin embargo, si la derrota militar generó alguna reacción especial, cultural y ciudadana, con respecto a la ciencia. Afortunadamente existe un estudio, ya clásico, de Paul Forman que ha clarificado este punto.[72]

Las tesis principales de Forman se pueden resumir en tres:

1) El ambiente intelectual existente en Alemania durante los años 1918-1927 era propio de una filosofía vitalista (*lebensphilosophische*), antirracionalista; esto es, estaba dominado por una, neorromántica y existencialista, filosofía de la vida, y por un sentimiento de repulsa hacia el positivismo, mecanicismo y materialismo al que, implícita o explícitamente se acusaba de haber conducido a la derrota. ¡Y qué mejor representante de la racionalidad, del positivismo, de lo analítico frente a lo orgánico, que las ciencias físicas! Expresión de este ambiente, y especialmente influyente, fue el libro de Oswald Spengler, *Der Untergang des Abendlandes* (*La decadencia de Occidente*), publicado precisamente en 1918 y en el que se podían encontrar con facilidad párrafos como el siguiente:[73] «Simplemente, no existen otras concepciones que no sean las antropomórficas... y así es con toda teoría física, no importa lo bien fundada que se supone que esté. Todo eso es en sí mismo un mito, antropomórficamente prefigurado en todos sus detalles. No existe ciencia natural pura, ni siquiera existe una ciencia natural que pueda ser considerada como común a todos los hombres».

Todavía más de una década después, los ecos de las

tesis organicistas de Spengler se podían detectar en el filosóficamente susceptible Erwin Schrödinger:[74]

> Nuestra cultura forma un todo. Incluso aquel que tuvo la suerte de dedicarse exclusivamente a la investigación —aparte de que los investigadores no son los únicos que la promueven— no es sólo botánico, físico o químico. Por la mañana habla en la cátedra sobre su especialidad. Por la tarde se sienta en una reunión política, oye y habla sobre otras cosas; otras veces se encuentra en un círculo ideológico, donde la conversación versa sobre diferentes temas. Se leen novelas y narraciones, se va al teatro, se cultiva la música, se hacen viajes, se ven cuadros, esculturas, arquitectura; y, sobre todo, se lee y se habla mucho sobre estas y otras cosas. En suma, todos somos miembros de nuestro medio cultural. Tan pronto como una cosa juega un papel en la orientación de nuestros intereses, el medio, el círculo cultural, el espíritu de la época o como se le quiera llamar, debe ejercer su influjo. Se encontrarán aspectos ideológicos comunes en todas las áreas de una cultura, y mucho más numerosos, aspectos estilísticos comunes, en la política, en el arte, en la ciencia. Si ocurre que aparece también en las ciencias naturales, se producirá una especie de indicio que demuestra la subjetividad y la dependencia del medio.

2) Como consecuencia de la presión sociointelectual a que se veían sometidos, se produjo —al menos cuando aparecían en público— entre los físicos y matemáticos alemanes una reacción de adaptación a los valores dominantes en la sociedad de la República de Weimar. Argumentos como los de sus aplicaciones técnicas o militares dejaron de ser utilizados públicamente para defender la actividad científica, pasándose a razonar en términos de capacidades creativas «vitales» y «espontáneas». Por decirlo de alguna manera, se dio una situación esquizofrénica en la que el mismo científico podía, por un lado, recurrir a la ciencia para reafirmar el papel de Alemania en el contexto internacional, papel cuestionado política y económicamente, mientras que por otro lado, podía criticar en público los fundamentos racionalistas de esa misma ciencia.

3) Existió, como consecuencia de todo lo anterior, un

amplio movimiento entre los físicos alemanes encaminado a abandonar el principio de causalidad, que caracterizaba y resumía, de acuerdo a las ideas spenglerianas, todo lo que de repudiable y analítico tenía la ciencia física. Veamos un par de ejemplos.

En septiembre de 1921, cuando la acausalidad (o mejor, incertidumbre) cuántica estaba todavía demasiado lejos como para ser siquiera intuida, Richard von Mises, catedrático de Matemáticas Aplicadas en la Universidad de Berlín, pronunciaba una conferencia sobre «La crisis actual en la mecánica» que no se ajusta demasiado a lo que cabría esperar de un científico que sólo un año antes había ocupado (aunque fuese por poco tiempo) una cátedra de Mecánica en el Technische Hochschule de Dresde:[75]

> Dicho en la forma más concisa posible, esta cuestión —en cuya respuesta negativa discierno la crisis en el estado actual de la mecánica— es así: ¿podemos suponer todavía que todos los fenómenos de movimiento y equilibrio que observamos en los cuerpos visibles se pueden explicar dentro del esquema de los axiomas newtonianos y de sus extensiones? En otras palabras, ¿se puede determinar sin ambigüedad el curso temporal de todo movimiento de una parte arbitrariamente delimitada de masa, especificando el estado inicial y suponiendo que está actuando alguna ley de fuerza apropiada? ... Todo lo que quiero demostrar aquí es que la acumulación de datos que poseemos en la actualidad hace evidente que sea altamente improbable que esta meta de la mecánica clásica se pueda alcanzar alguna vez, y que otras, perfectamente definidas y ya familiares, consideraciones están destinadas a mitigar o a suplementar la rígida estructura causal de la teoría clásica..., aunque el sacrificio sea grande o pequeño, aunque lo encontremos fácil o difícil, me parece inevitable afirmar de una vez clara y francamente que existen dentro de la puramente empírica mecánica fenómenos de movimiento y equilibrio que nunca podrán ser explicados a partir de las ecuaciones diferenciales de la mecánica.

Vista la trayectoria que en el futuro iba a tomar la carrera de von Mises, con sus contribuciones a la filosofía, se podría pensar que su caso no es representativo. ¿Pero

qué pensar cuando el protagonista es nada más y nada menos que el químico-físico Walther Nernst, dirigiéndose a una audiencia académica el 21 de octubre de 1921, con ocasión de su conferencia inaugural como rector de la Universidad de Berlín?[76]

> ¿Pero puede ahora la filosofía y la ciencia natural —se preguntaba Nernst— realmente afirmar con seguridad que, por ejemplo, toda acción humana es el resultado directo y preciso de las circunstancias prevalecientes en el momento? Si leyes de las naturaleza absolutamente rigurosas controlasen el curso de todos los sucesos, entonces a duras penas podría uno evitar esta conclusión.

Ahora bien, en su opinión la filosofía había adoptado esa posición únicamente porque había estado tiranizada por las ciencias naturales exactas, cuyo «concepto del principio de causalidad como una ley de la naturaleza absolutamente rigurosa aprisionaba a la mente como en una bota malaya, y es, por consiguiente, en la actualidad la obligación de la investigación en la ciencia natural aflojar suficientemente esos grilletes de manera que no se estorbe el libre discurrir del pensamiento filosófico».

No todos los científicos adoptaron semejantes posturas críticas con respecto a la causalidad. Entre los que reaccionaron en contra de ellas se encuentran figuras tan prominentes como Planck y Einstein, colegas de von Mises y de Nernst en Berlín. Para ellos cuestionar la validez del principio de causalidad era casi tanto como cuestionar a la propia física. Es curioso que Einstein, pacifista y progresista, e identificado y con frecuencia criticado como tal por muchos de sus colegas más conservadores, cuando no reaccionarios, aparecía ahora en contra de la corriente, ajeno al *Zeitgeist* del momento, culturalmente desfasado, anacrónico, reaccionario él mismo.

En cuanto a si estos sentimientos produjeron realmente la interpretación probabilista de la mecánica cuántica, hay que decir que realizar tal afirmación sería demasiado arriesgada; recordemos, sin ir más lejos, que Niels Bohr,

uno de los principales responsables de la interpretación canónica de la mecánica cuántica, no era alemán ni, según parece, estuvo influido por el ambiente «acausal» germano. En el mejor de los casos, parece que los factores externos que surgieron en la República de Weimar y que rechazaban el valor de conceptos como el de causalidad pudieron facilitar el camino a los más importantes desarrollos internos dentro de la mecánica cuántica que condujeron a la interpretación probabilista de la nueva teoría del microcosmos. Por supuesto, y habida cuenta de que con el transcurso del tiempo se han llegado a proponer versiones causales de la teoría cuántica, que aunque menos satisfactorias que la formulación original contienen un alto grado de coherencia, se puede pensar que tal vez sin aquellos factores externos habría sido otra la formulación desarrollada en la segunda mitad de la década de los años veinte. Es difícil pronunciarse cuando una de las alternativas no se dio, y además en una obra como la presente lo más interesante es constatar que una situación de crisis política y económica puede provocar otra crisis, esta vez cultural, de valores. Y que los científicos, los profesionales del conocimiento analítico, y en este sentido de la razón también, no fueron inmunes a semejante virus.

Capítulo 10

LA CIENCIA EN LA ALEMANIA DE HITLER Y EL EXILIO CIENTÍFICO (1933-1945)

ADOLF HITLER, CANCILLER ALEMÁN. EL ANTISEMITISMO SE OFICIALIZA

En el agitado período de la República de Weimar no faltó, como ya indiqué en el capítulo anterior, la propaganda antisemita. Varios grupos, de orientación política diferente, presentaban programas que incluían algún tipo de manifestación en contra de los judíos. Uno de esos grupos era el Partido Alemán Nacionalista (Deutsche-Nationale), que en las elecciones de 1920 obtuvo 66 escaños en el Reichstag; cuatro años después, este número ascendía a 96. Ya antes de estas elecciones, una facción antisemita más extremista se separó de este partido, uniéndose al Partido Obrero Alemán Nacionalsocialista (Nationalsozialistische Deutsche Arbeiterpartei), dirigido desde 1921 por Adolf Hitler (1889-1945), que venía manteniendo posiciones ideológicas en contra de los judíos desde, al menos, 1920 (parte de su programa de 25 puntos era que sólo camaradas raciales [*Volksgenossen*] podían ser ciudadanos, y que los judíos estaban excluidos de esa categoría). Los dos grupos juntos obtuvieron 32 escaños en las elecciones de 1924. Como se sabe, las graves crisis por las que atravesó Alemania después de 1929 aumentaron la popularidad y poder de los nacionalsocialistas (nazis), que en las elecciones de 1930 obtuvieron 6.400.000 votos y 107 diputados; en las celebradas en julio de 1932 pasaban a obtener el 37 por 100 de los votos (unos 14 millones). Con sus 230 diputados y la ayuda de los partidos conservadores, Hitler conseguía formar gobierno, siendo nombrado canciller el 30 de enero de 1933.

No tardó mucho Hitler —dos meses, nada más— en comenzar a implementar su ideología racial. El 31 de marzo, jueces judíos fueron apartados de sus funciones en Prusia, específicamente por ser judíos. Una semana después, el 7 de abril, firmada por Hitler, como canciller, Wilhelm Frick, ministro del Interior, y el conde Schwerin von Krosigk, ministro de Economía, se promulgaba la famosa Ley de restauración de la carrera del funcionariado (*Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums*), con la que de hecho se pretendía purgar todas las escalas de funcionarios, profesores universitarios incluidos, por supuesto. El parágrafo número 3 era el que se refería a los no arios:[1]

> 1) Serán apartados de sus puestos todos los funcionarios que no sean de origen ario. En lo que se refiere a los funcionarios honorarios, serán apartados de todo tipo de funciones oficiales.
>
> 2) El parágrafo 1 no se aplicará a aquellos funcionarios que lo fuesen el 1 de agosto de 1914, o que luchasen en el frente defendiendo al Imperio alemán o a sus aliados durante la guerra, o cuyos padres o hijos cayesen en la Guerra.

Asimismo, se determinaba que se suspendería a «los funcionarios cuyas actividades políticas previas no ofrezcan la seguridad de que apoyarán invariablemente y sin reserva al Estado nacional». Con respecto a sus salarios, los recibirían durante tres meses después de ser cesados; a partir de ese momento tendrían tres cuartos de la pensión que les correspondiese.

En otras palabras: los funcionarios que habían conseguido su puesto durante la República de Weimar, que no eran de ascendencia aria, o cuyas actividades políticas no garantizasen que servirían sin reservas al nuevo régimen, tenían que abandonar sus puestos. En teoría, los no arios que habían obtenido sus puestos antes del comienzo de la Primera Guerra Mundial, que habían luchado en el frente durante aquella guerra, o cuyos padres o hijos habían fallecido en acto de servicio en la guerra, podían conservar sus empleos. En la práctica, sin embargo, también estas personas perdieron sus puestos con bastante

rapidez.

Ante la noticia, muchos alemanes de origen judío debieron reaccionar igual que lo hizo Victor Klemperer, veterano de la Gran Guerra, un hombre de letras y un historiador refinado, que el 10 de abril anotaba en su diario:2 «El desgraciado sentimiento de "Gracias a Dios, estoy vivo". La nueva "ley" del Servicio Civil me deja, como veterano de guerra, en mi puesto, al menos por el momento (Dember y Blumenfeld también se salvan). Pero por todas partes hay tumultos, miseria, miedo y temblores. Un primo de Dember, doctor en Berlín, fue sacado de su oficina en mangas de camisa y llevado al Hospital Humboldt en un estado muy malo; murió allí, tenía cuarenta y cinco años. Frau Dember nos lo dijo entre susurros con la puerta cerrada. Diciéndonoslo está difundiendo "historias atroces", falsas por supuesto».

Las dimisiones de James Franck y Fritz Haber

Algunos no fueron tan temerosos o «prudentes». El primer científico en reaccionar abiertamente ante la afrenta que sin duda representaban las nuevas regulaciones fue el físico experimental de Gotinga (donde dirigía uno de sus institutos de física) y premio Nobel de Física en 1926 (pero correspondiente a 1925) James Franck (1882-1964).3 Diez días después del decreto, el 17 de abril, Franck enviaba su dimisión al ministro prusiano de Ciencias, Artes y Cultura. De hecho, podía haberse acogido a las excepciones que incluía la ley, ya que había servido a su país durante la Gran Guerra, presentándose voluntario inmediatamente después de su inicio (sirvió en la unidad dirigida por Haber que desarrolló los gases tóxicos; no participó en los últimos meses de la guerra porque fue herido en febrero de 1918, y recibió varias condecoraciones, incluidas dos Cruces de Hierro). En su número del 18 de abril, el periódico *Göttinger Zeitung* daba la noticia incluyendo una entrevista con Frank y algunos pasajes de la carta que envió al ministro con su dimisión:4

> He solicitado a mi superior que se me permita abandonar mi puesto. Intentaré continuar trabajando en ciencia en Alemania.
>
> Nosotros, los alemanes de origen judío estamos siendo tratados como extranjeros y como enemigos de la patria. Se espera que nuestros hijos crezcan sabiendo que no se les permitirá nunca demostrar que son buenos alemanes.
>
> A todos aquellos que han estado en la guerra se les permite continuar sirviendo al Estado. Declino beneficiarme de este privilegio, a pesar de que comprendo la postura de aquellos que consideran hoy su deber permanecer en sus puestos.

En 1935, Franck aceptaba un puesto de catedrático en la Universidad de Baltimore, en Estados Unidos, pasando en 1938 a la Universidad de Chicago. En su momento participó de manera destacada en el Proyecto Manhattan, del que me ocuparé más adelante y que condujo a la fabricación de las primeras bombas atómicas.

Otro caso destacado, aunque no tan inmediato, fue el de Fritz Haber, con quien ya nos hemos encontrado. Ya vimos que las contribuciones de Haber a la química constituyeron un apoyo inestimable a la sociedad germana: el proceso Haber-Bosch para la síntesis del amoníaco, además de resultar enormemente rentable desde el punto de vista industrial, aseguró a Alemania la producción de explosivos, municiones y abonos durante la Primera Guerra Mundial, contienda en la que Haber, recordemos, participó de manera muy destacada con sus aportaciones a la guerra química. La derrota alemana afectó duramente a Haber, quien pasó algunos meses con problemas de nervios. Además, su destacado papel en el desarrollo de la guerra química hizo que durante algunos años numerosos colegas de otros países intentaran evitarle, más aún en tanto que no renegó de las actividades que había desempeñado en defensa de su patria (de hecho, siguió manteniendo contactos con el Ministerio de Defensa en asuntos relacionados con la guerra química). Su categoría científica era, de todas maneras, demasiado elevada y ya vimos que la Academia Sueca de Ciencias le otorgó el premio Nobel de Química de 1918.

Obviamente, Haber constituía una de las excepciones

previstas por la Ley del 7 de abril; sin embargo, él no quiso utilizar tal posibilidad y el 30 de abril dirigía la siguiente carta al ministro para la Ciencia, Arte y Educación:[5]

> Honorable señor:
>
> Por la presente le solicito respetuosamente mi jubilación, con fecha del 1 de octubre de 1933, de mi puesto en Prusia de director de uno de los Institutos Káiser Guillermo, así como de mi, secundario, puesto de catedrático en la Universidad de Berlín. De acuerdo con las previsiones de la Ley para Empleados Gubernamentales del 7 de abril de 1933, que se ordenó fuese aplicada a los Institutos de la Asociación Káiser Guillermo, tengo derecho a conservar mi puesto a pesar de ser descendiente de abuelos y padres judíos. Sin embargo, no deseo aprovecharme de este permiso más allá de lo que sea necesario para abandonar de manera ordenada los deberes científicos y administrativos de mis puestos.
>
> Mi solicitud es similar en su contenido a la que han dirigido al presidente de la Asociación Káiser Guillermo los profesores H. Freundlich y M. Polanyi, miembros científicos y directores de división del Instituto Káiser Guillermo de Química Física y Electroquímica. Recomendé que se aceptasen estas solicitudes.
>
> Mi decisión de pedir la jubilación ha surgido del contraste entre la tradición investigadora en la que he vivido hasta ahora y los puntos de vista diferentes que usted, Sr. ministro, y su Ministerio defienden como protagonistas del actual gran movimiento nacional. En mi puesto científico, mi tradición exige que al escoger mis colaboradores tenga en cuenta solamente las credenciales profesionales y personales de los solicitantes, independientemente de sus ascendientes raciales. No esperará usted de un hombre de sesenta y cinco años que altere la forma de pensar que le ha guiado durante los últimos treinta y nueve años de su vida universitaria, y comprenderá que el orgullo con el que ha servido toda su vida a su patria alemana le dicta ahora esta solicitud de jubilación.
>
> Respetuosamente:
>
> F. Haber

La postura adoptada por Haber puede considerarse como la lógica de una persona honorable y ya mayor, pero para nuestros propósitos es más interesante la reacción del ministro, Bernhard Rust, quien el día después de recibir la carta de Haber realizó los siguientes comentarios en un acto

público:[6]

> ¡Estudiantes y profesores alemanes!
>
> No culpo en absoluto a los hombres que no son de origen ario por intentar, siguiendo el instinto de su sangre, emplear a aquellos instructores y ayudantes que les son más cercanos por sangre. Pero yo no lo puedo permitir. Y cuando un muy conocido profesor del Instituto Káiser Guillermo me escribe ayer diciéndome que él no va a someterse en modo alguno a que se le dicte la composición del grupo de investigación que ha creado, yo debo declarar que no estoy autorizado a no llevar a la práctica las leyes que el pueblo alemán se ha dado a sí mismo a través del gobierno del Reich. En el futuro, la generación que surja en las universidades debe ser aria o todo habrá sido inútil. Personalmente simpatizo profundamente con la tragedia de la gente que en lo profundo de sí mismos quieren considerarse miembros de la comunidad de personas alemanas, y que han aportado su trabajo a ella. No hay nada más duro para mí que tener que firmar con mi nombre la jubilación de hombres que como individuos a menudo no me han dado motivo para hacer tal cosa. Pero se debe mantener el principio en beneficio del futuro. Cuando hayamos establecido una vez más ... entre los dirigentes y los dirigidos en las universidades alemanas la misma relación que existe en el pueblo alemán entre no arios y arios, entonces, señores, no habrá más guerra racial en Alemania. Entiéndanme correctamente: detendremos la guerra de esa manera, porque habremos reestablecido la relación adecuada.

Tal era la auténtica situación en que se encontraban las «excepciones» a la Ley del 7 de abril.[7]

En cualquier caso, el 15 de septiembre de 1935 se eliminaban esas excepciones teóricas. Aquel día se promulgaron los decretos conocidos como «leyes de Núremberg». Estas leyes, calificadas oficialmente como de «nacionalidad», establecían que los judíos eran súbditos carentes de derechos políticos (únicamente las personas de origen ario poseían tales derechos). Se definía como «judío» al que contaba con tres abuelos de ese origen; también existían «mestizos», de primera y segunda clase, según el número de abuelos judíos que tuviesen (con el tiempo los mestizos de primera clase sufrirían el mismo destino que los

judíos totales). Asimismo, se establecía la protección de la sangre y el honor alemanes, para lo cual se prohibía a los judíos el matrimonio con gentiles, el empleo de sirvientas domésticas menores de cuarenta y cinco años y desplegar la bandera nacional.[8]

Einstein

Como sabemos, una de las primeras personas en ser perseguidas por los nazis fue Albert Einstein. Desde la perspectiva de los seguidores de Hitler, era una decisión lógica; el gran genio de la física —ya una figura de talla y popularidad mundial— reunía algunas de las características que más odiaban los nazis: era judío y, en alguna medida, sionista, pacifista e internacionalista. El 10 de marzo Einstein, que se encontraba en Pasadena (California) desde enero con su esposa, Elsa, hacía pública su postura en una entrevista que concedió al *New York World Telegraph*:[9] «Mientras tenga posibilidad de elección, viviré únicamente en un país en el que prevalezcan la libertad civil, la tolerancia y la igualdad de todos los ciudadanos ante la ley. La libertad civil implica libertad para expresar las convicciones políticas, oralmente o por escrito; tolerancia significa respeto a las convicciones de otros, sean éstas las que sean. Tales condiciones no existen en Alemania en la actualidad». Einstein nunca volvería al país que le vio nacer, y después de vagar unos meses por Europa se instaló definitivamente, a finales de octubre de 1933, en la School of Mathematics del recientemente creado (1 de octubre) Institute for Advanced Study de Princeton (Estados Unidos), en donde tendría de compañeros al principio a científicos de la talla de John von Neumann, Abraham Veblen, Hermann Weyl, James Alexander, Kurt Gödel y Marston Morse.[10] Por cierto que esta prestigiosa institución difícilmente podría haberse fundado con el espíritu tan elitista que lo hizo (lo que constituyó una de las claves de su éxito) sin la «ayuda» de la política antisemita nazi. Además de Einstein, también Weyl (que aunque ario estaba

casado con una judía) fue atraído a Estados Unidos debido a la situación en que se encontraba Alemania (el caso de von Neumann es diferente, ya que había establecido relaciones con la Universidad de Princeton desde 1930; sin embargo, también es cierto que al ser de origen judío las puertas de las universidades germanas se le cerraron a partir de 1933).

Hans Krebs, otra víctima de la persecución «Contra el espíritu antialemán»

Para que nos hagamos idea de la situación en que crecientemente se iban encontrando los científicos alemanes de origen judío, utilizaré en esta sección algunos datos y recuerdos de uno de esos científicos, el bioquímico Hans Krebs (1900-1981), premio Nobel de Medicina o Fisiología de 1953 por su descubrimiento (en 1937) del ciclo del ácido cítrico («ciclo de Krebs»), que perdió su puesto en la Universidad de Friburgo (se trasladó a Cambridge, instalándose finalmente en Oxford). En su autobiografía, Krebs recordaba primero su sorpresa cuando pocos días después de que Hitler tomase el poder, «aparecieran por todas partes uniformes nazis. Colegas del hospital que hasta entonces habían admitido como mucho tímidas simpatías por Hitler, aparecieron de repente con uniformes de organizaciones nazis. Uno lucía tres estrellas, indicando un grado senior; muchos habían sido en secreto miembros durante años».11 El 12 de abril recibía una «carta, formal, impersonal», del decano de la Facultad de Medicina informándole de que a requerimiento del ministro de Educación era puesto inmediatamente en situación de «permiso de ausencia». Cuatro semanas antes, el mismo decano había firmado una carta en la que, en términos muy elogiosos, recomendaba que se le nombrase profesor de la Facultad. Pocos días después, el 18 de abril, se le notificaba que su contrato finalizaría el 1 de julio.

Mientras sucedía esto, continuaba recordando Krebs, «la atmósfera política alrededor de mí se deterioraba. Por

todo Friburgo aparecieron carteles dirigidos a los estudiantes» con el siguiente manifiesto:12

Como parte del Nuevo Orden
CONTRA EL ESPÍRITU ANTIALEMÁN

1) El idioma y la literatura están enraizados en el pueblo. El pueblo alemán tiene la responsabilidad de asegurar que su idioma y literatura son una expresión pura y no contaminada de su carácter nacional.
2) En la actualidad un conflicto está abriendo una brecha entre la literatura alemana y el pueblo alemán. Esto es una ofensa.
3) ¡De vosotros depende la pureza del idioma y de la literatura! Vuestra nación os ha dado su idioma para que lo mantengáis seguro.
4) Nuestro adversario más peligroso es el judío y aquel que es vasallo suyo.
5) El judío sólo puede pensar como un judío. Si escribe en alemán, miente. El alemán que escribe en alemán pero piensa como un no alemán es un traidor. El estudiante que habla y escribe como un no alemán es, además, vil y pérfido.
6) Exterminaremos la mentira, perseguiremos el engaño y la traición, pedimos a los estudiantes que la universidad sea un lugar, no de superficialidad sino de disciplina y de educación política.
7) Queremos respetar al judío como extranjero, pero queremos tomar muy seriamente el carácter nacional. Por consiguiente, pedimos al censor que
   – Los trabajos judíos se publiquen en el idioma hebreo.
   – Si se publican en alemán, debe quedar claro que son traducciones.
   – Se deben tomar las medidas más rigurosas contra el mal uso del idioma alemán. Sólo se debe permitir a los alemanes emplear el idioma alemán.
   – El espíritu no alemán debe mostrarse en las bibliotecas públicas.
8) Exigimos del estudiante alemán determinación y habilidad para razonar y decidir libremente.
9) Exigimos del estudiante alemán determinación y habilidad para preservar la pureza del idioma alemán.
10) Exigimos del estudiante alemán determinación y habilidad para superar el intelectualismo judío y la amenaza que éste contiene: la decadencia del espíritu del

pueblo alemán a través del liberalismo.

11) Exigimos que la dedicación a la salvaguardia de la forma alemana de pensar sea la primera consideración en la selección de los estudiantes y los profesores.

12) Exigimos una Universidad Alemana que sea guardiana del Carácter Nacional Alemán y un lugar de lucha que surja de la fuerza del espíritu alemán.

Los estudiantes de Alemania

Más de setenta años después, todavía estremece leer estas brutales y primitivas manifestaciones.

El rector de la Universidad, von Möllendorff, catedrático de Anatomía, ordenó que se retirasen de la universidad los carteles con el manifiesto. Fue apartado inmediatamente de su cargo. Le sucedió otro académico, uno que no objetaba a semejante declaración. Se llamaba Martin Heidegger, y ya era por entonces un filósofo con reputación internacional. Pero de Heidegger, el entusiasta seguidor de Hitler, ya se ha escrito demasiado como para añadir más aquí.

UN NUEVO ÉXODO JUDÍO

Según fue extendiéndose el dominio alemán, se amplió el ámbito geográfico de aplicación de las medidas raciales introducidas por los nazis. El 13 de marzo de 1938 la plaga antijudía llegó a Austria con la «Anexión» (*Anschluss*),[13] lo que agregó alrededor de 200.000 judíos más al imperio nazi; y el 29 de septiembre del mismo año llegaba a Checoslovaquia. Entremedias, el fascismo italiano, mimético de su homólogo germano y deseoso de atraerse sus simpatías, culminó la campaña de propaganda antisemita, comenzada por Benito Mussolini en julio de 1938 cuando dio instrucciones a los secretarios de los ministerios de los que él mismo se encargaba (Guerra, Marina y Aviación) de que no se aceptasen judíos en las academias militares. El 14 de julio se publicaba en el *Giornale d'Italia* lo que se conoce como el *Manifesto della Razza*, en el que «un grupo de investigadores fascistas,

profesores de universidades italianas» que habían trabajado «con el apoyo del Ministerio para la Cultura Popular», manifestaba que el «fascismo se enfrenta con los problemas raciales». El 17 de agosto, una circular del Departamento de Interior ordenaba a los prefectos que no nombrasen a judíos para puestos oficiales, órdenes que se complementaron entre septiembre y noviembre con otras que profundizaban en la persecución de los judíos, italianos y extranjeros. La incomparable matemática italiana se vio especialmente afectada, ya que Vito Volterra, Tullio Levi-Civita, Federigo Enriques, Guido Castelnuovo, E. E. Levi y C. Segre eran de origen judío.14 De hecho, fueron expulsados de la enseñanza universitaria: Guido Ascoli, profesor de Análisis en la Universidad de Milán; Federigo Enriques, profesor de Geometría Superior en Roma; Gino Fano (Geometría, Torino); Guido Fubini Ghiron (Análisis, Turín); Guido Horn d'Arturo (Astronomía, Bolonia); Beppo Levi (Análisis, Bolonia); Tullio Levi-Civita (Mecánica Racional, Roma); Arturo Maroni (Geometría, Pavía); Giorgio Mortara (Estadística, Milán); Beniamino Segre (Geometría; Bolonia); y Alessandro Terracini (Geometría; Turín).

También perdió Italia a su joya más preciada: Enrico Fermi (1901-1954), cuya esposa era de ascendencia judía; aprovechó su viaje a Estocolmo, a recoger el premio Nobel de Física en diciembre de 1938, para no regresar a su patria y trasladarse a Estados Unidos, adonde llegó con su familia el 2 de enero de 1939.15

El caso de Fermi merece un comentario especial, para que nos hagamos una idea más precisa. Inicialmente la relación de Fermi con el régimen político que dirigía entonces su país no fue, en modo alguno, de oposición. Así, el 29 de marzo de 1929, Mussolini le nombró miembro de la Real Academia de Italia, siendo inscrito el día siguiente en el Partito Nazionale fascista. Unos meses más tarde, el 31 de enero de 1930, Fermi era recibido en una audiencia privada por el *Duce* para presentarle un documento en el que proponía que se transformase el Instituto de Física de la Universidad de Roma en el que investigaba en un Instituto

Nacional de Física autónomo, que dependiese directamente del Ministerio de Educación Nacional (no obstante, la propuesta no prosperó debido a la decidida oposición del ministro). Asimismo, Fermi formaba parte del Consiglio Nazionale delle Ricerche (que presidía, por cierto, Marconi), de cuyo Comité de Física era además secretario. Tampoco tuvo reparos en firmar en 1931 el documento de juramento que el régimen exigió entonces a los profesores universitarios. El 23 de noviembre de aquel año juró, en efecto, «ser fiel al rey, a sus sucesores reales y al régimen fascista, cumplir lealmente el Estatuto y otras leyes del Estado, ejercitar el oficio de profesor y satisfacer todos los deberes académicos con el propósito de formar ciudadanos trabajadores, probos y devotos a la Patria y al régimen fascista».16

No pretendo deducir de estos hechos que Fermi fuese un fascista. Sin ir más lejos, los españoles de cierta edad recordarán que los profesores universitarios debían jurar fidelidad al régimen dirigido por el general Franco, lo que hicieron incluso muchos de aquellos que se distinguieron en la lucha contra la dictadura. Sin embargo, lo menos que se puede decir es que Fermi se amoldó al poder político existente en su país para continuar investigando de la forma más eficaz posible. No buscó entrar en conflicto con él, porque reconoció con claridad que el poder estaba en la política y no en la ciencia. Y si más tarde abandonó Italia, lo único que podemos decir con seguridad es que lo hizo porque las nuevas leyes raciales aprobadas afectaban a su esposa, y porque además tuvo la oportunidad de marcharse de su patria sin ningún tipo de problemas, con la seguridad de que encontraría un puesto de trabajo en magníficas condiciones (mejores, de hecho, que en Italia), en otro país, Estados Unidos. Si entre sus motivos para exiliarse figuraba también el de rechazar el régimen fascista que regía su nación, eso es algo que no es posible saber o de lo que estar seguro.

Continuando con la emigración obligada de judíos, tenemos que es difícil estimar el número de alemanes,

austríacos y checoslovacos de origen judío que se exiliaron durante los años del nazismo. Diferentes fuentes ofrecen distintas cifras. En mi opinión, uno de los documentos más fiables es el *International Biographical Dictionary of Central European Émigrés, 1933-1945*, fruto de un proyecto llevado a cabo por el Institut für Zeitgeschichte (Instituto de Historia Contemporánea) de Múnich y la Research Foundation for Jewish Immigration (Fundación para la Investigación de la Inmigración Judía) de Nueva York.[17] En lo que a cifras globales se refiere, se estima que alrededor de medio millón de personas pudieron abandonar Alemania, Austria y Checoslovaquia entre enero de 1933 y 1941; de ellos cerca del 94 por 100, esto es, 470.000, eran de origen judío.[18] Las dos tablas siguientes (que incluyen también número de deportados) muestran los casos alemán y austríaco.[19]

NÚMERO TOTAL DE JUDÍOS EMIGRADOS DE ALEMANIA (1933-1945)

	Población judía *(× 1.000)*
1933	525.000
1934	23
1935	21
1936	25
1937	23
1938	40
1939 (17 mayo)	213.390
1939 (31 diciembre)	78
1940	15
1941 (1 mayo)	169.000
1941 (1 octubre)	164.000
1942	137.000
1943	51.000
1944	14.500
1945	20.000-25.000
Total	278.500

NÚMERO TOTAL DE JUDÍOS EMIGRADOS DE AUSTRIA (1934-1943)

Año	*Población judía*
1934	191.481
1938	220.000

1939	120.000
1941	128.500
1943	140.000

La mayoría de los exiliados huyó de Alemania o Austria a través de diferentes países.[20] En principio, normalmente las naciones europeas vecinas constituían la primera parada de lo que podía llegar a ser una difícil y larga peregrinación. Estos países eran únicamente estaciones de paso por diversos motivos: en primer lugar, porque a menudo practicaban políticas inmigratorias muy restrictivas; en segundo lugar, por la progresiva ampliación del dominio político y militar nacionalsocialista. Tras la integración de Austria en 1938 y la incorporación de Checoslovaquia en 1939, estos dos países dejaron de constituir destinos posibles, aunque fuesen temporales.[21] Lo mismo ocurrió a partir de 1940 con Francia y los Países Bajos. Por consiguiente, estas naciones sólo contaron durante la primera oleada de inmigración.

Si prescindimos ahora de los países de paso, entonces fueron Estados Unidos, Latinoamérica y Palestina,[22] por este orden, quienes acogieron la mayor parte de la emigración. Tomando únicamente los judíos alemanes, entre 1933 y 1945, a Estados Unidos se dirigieron unos 130.000 emigrantes, 90.000 a Latinoamérica y 55.000 a Palestina. Es interesante mencionar que al principio la Unión Soviética pareció una opción importante para absorber profesores y científicos alemanes exiliados. Desde el comienzo de la década de los treinta, la URSS parecía interesada en atraer a científicos.[23] El primer Plan Quinquenal (1928) hizo crecer considerablemente la producción industrial, y los comienzos del segundo parecían ir en la misma dirección. Estos planes hacían hincapié en la necesidad de aumentar la base técnica (humana y material) soviética, lo que implicaba extender la educación superior científico-técnica; de hecho, el alumnado creció considerablemente en las universidades y escuelas técnicas soviéticas después de 1929. Tales desarrollos produjeron una gran demanda de profesores en

esos campos, demanda que la Unión Soviética no podía satisfacer con sus propios ciudadanos. Los exiliados alemanes ofrecían, por tanto, una posible buena solución. A la postre, sin embargo, la situación política y evolución económico-industrial soviética bloqueó semejante posibilidad. En medio de las purgas que convulsionaron al país, la mayoría de los científicos alemanes fueron destituidos de sus puestos, con lo que en el mejor de los casos tuvieron que volver a emigrar, como por ejemplo Guido Beck, Herbert Fröhlich o Laszlo Tisza (algunos no tuvieron esta posibilidad, como F. Noether y Friedrich G. Houtermans, que fueron detenidos, desapareciendo posteriormente).[24] Por informes proporcionados por una agencia judía-alemana a la policía secreta nazi, parece que alrededor de mil personas, además de un pequeño número de refugiados políticos, fueron admitidos en la Unión Soviética.[25]

Limitándonos a continuación a los inmigrantes de habla alemana relacionados con las artes, las ciencias y la literatura, tal y como se recogen en el citado *International Biographical Dictionary of Central European Émigrés*, tenemos que Estados Unidos acogió aproximadamente, como destino final, al 48 por 100; Gran Bretaña recibió al 10, Palestina al 8 y Suiza al 4. En lo que se refiere al primer destino de estos emigrantes judíos, disponemos de los siguientes datos: a Austria se dirigió el 3 por 100, el mismo porcentaje que (en cada caso) a Checoslovaquia, Holanda e Italia; el 2 a Turquía, que como parte de su modernización promovida por Kemal Atatürk contrató más emigrantes que ningún otro país como profesores para sus dos universidades (Estambul y Ankara) y para sus escuelas técnicas; un 1 por 100 fue (también en cada caso) a Suecia, Hungría, URSS, Australia, Argentina y Brasil; el 9 a Francia y también a Suiza; el 19 se trasladó a Gran Bretaña; el 27 a Estados Unidos y el 8 a Palestina. La transitoriedad de estos destinos se manifiesta si tenemos en cuenta, por ejemplo, que en 1940 había en Gran Bretaña unos 63.000 emigrantes procedentes del Reich alemán, Austria y Checoslovaquia,

mientras que en 1943 la cifra había descendido a 25.000.

Hay que tener en cuenta también, por supuesto, a aquellos que regresaron a Europa después de 1945. De los que se incorporaron por primera vez a puestos profesionales de cierta relevancia después de 1933 —en los casos de austríacos y checoslovacos, 1938 y 1939, respectivamente — muy pocos regresaron, puesto que se encontraban perfectamente integrados en su país de adopción. Parece razonable, por consiguiente, considerar únicamente a aquellos que nacieron antes de 1908 (o 1913 para los casos de Austria y Checoslovaquia). El resultado es que de este grupo regresó aproximadamente un tercio de los emigrantes relacionados con el mundo de la cultura y de la ciencia. Ahora bien, este regreso no afectó de igual manera a todas las disciplinas. Entre los que volvieron dominaban los especialistas en las ciencias humanas: retornó alrededor del 27 por 100. Por el contrario, los científicos de la naturaleza, ingenieros y médicos representan únicamente el 12 por 100 de los que regresaban. Una explicación obvia de tal diferencia es que las ciencias humanas dependen mucho más del lenguaje, cultura e historia nativas, lo que, por un lado, inclinaba más a sus profesionales a regresar al lugar en donde más fácilmente podían relacionarse con las fuentes necesarias para desarrollar su trabajo; por otro lado, muchas de esas disciplinas «humanísticas» (literatura o filología germanas, por ejemplo), se valoraban menos en otras naciones que las relacionadas con su propia cultura e historia nacionales.

Los casos de Hans Bethe y Lise Meitner

Cuando se está hablando del «retorno», es interesante ofrecer muestras de algunas de las razones, y sentimientos, que llevaron a muchos a rechazar esta idea. Un ejemplo magnífico es el de uno de los más ilustres exiliados alemanes en el ámbito de la ciencia: el físico nuclear Hans Bethe (1906-2005). Bethe emigró a Gran Bretaña en 1933 y después de pasar por las Universidades de Manchester y

Bristol, se trasladó en 1935 a Estados Unidos, a Cornell, nacionalizándose ciudadano estadounidense en 1941; en 1967 obtendría el premio Nobel de Física por las contribuciones que realizó en 1938 a la teoría de las reacciones nucleares, especialmente a la producción de energía en el interior de estrellas. Tras la guerra, Bethe, un antiguo alumno de Arnold Sommerfeld, recibió de éste la muy tentadora oferta de sucederle en su cátedra de la Universidad de Múnich, uno de los grandes puestos de la física germana. He aquí la respuesta de Bethe a Sommerfeld, fechada el 20 de mayo de 1947:[26]

> Me agradó y honró mucho que haya pensado en mí como su sucesor. Si pudiera desaparecer todo lo que ha sucedido desde 1933, estaría muy feliz de aceptar esta oferta. Sería maravilloso regresar al lugar en el que aprendí física de usted, y donde aprendí a resolver problemas cuidadosamente. Y donde después, como su ayudante y *privatdozent*, tuve lo que probablemente haya sido el período más provechoso de mi vida científica. Sería maravilloso intentar continuar su obra y enseñar a alumnos de Múnich de la misma forma en que usted lo ha hecho siempre; con usted, uno estaba seguro de conocer siempre los últimos avances de la física, y al mismo tiempo aprender la precisión matemática que tantos físicos teóricos descuidan hoy.
>
> Desgraciadamente, no es posible borrar los últimos catorce años... Para nosotros, los que fuimos expulsados de nuestros puestos en Alemania, no es posible olvidar. Los estudiantes de 1933 no querían aprender física teórica conmigo (y era un grupo numeroso de estudiantes, acaso incluso la mayoría), y aun si los estudiantes de 1947 piensan de otra manera, no puedo fiarme de ellos. Y lo que oigo acerca de la orientación nacionalista que se está despertando de nuevo en muchas universidades, y también en muchos otros alemanes, no es reconfortante.
>
> Acaso más importante que mis recuerdos negativos de Alemania sea mi actitud positiva hacia América. Me parece (ya desde hace muchos años) que me encuentro más a gusto, como en mi casa, en América, de lo que me encontraba entonces en Alemania. Como si sólo por equivocación hubiese nacido en Alemania, y únicamente llegase a mi verdadera patria a la edad de veintiocho años. Los americanos (casi todos ellos) son

amigables, no encocorados y reservados, o incluso bruscos, como la mayoría de los alemanes. Aquí es natural entrar en contacto amigable con todo el mundo. Profesores y estudiantes se comunican entre sí como colegas, sin ningún muro levantado entre ellos artificialmente. El trabajo científico se realiza sobre todo en colaboración, y uno nunca ve competitividad envidiosa entre los científicos. Y políticamente, la mayoría de los profesores y estudiantes son liberales y piensa en el mundo que está fuera de ellos —esto fue para mí una revelación, ya que en Alemania lo normal era ser reaccionario (mucho antes de los nazis) y repetir mecánicamente los eslóganes del Partido Nacional Alemán. En resumen: encuentro mucho más agradable vivir con americanos que con mis contemporáneos alemanes.

Además, América me ha tratado muy bien. Llegué aquí bajo circunstancias que no me permitían ser muy selectivo. En poco tiempo tenía una cátedra, probablemente más rápidamente de lo que hubiera ocurrido en Alemania si Hitler no hubiese aparecido. Se me permitió, siendo un inmigrante bastante reciente, trabajar en laboratorios relacionados con el esfuerzo bélico, y en puestos prominentes. Ahora, tras la guerra, Cornell ha construido un nuevo y gran laboratorio de física nuclear, esencialmente «en torno a mí». Y 2 o 3 de las mejores universidades americanas me han hecho ofertas tentadoras.

No necesito mencionar el lado materialista, no sólo relativo a mi propio salario, sino también el equipo del instituto. Y espero, querido Sommerfeld, que usted comprenderá; que comprenderá que amo a América y que debo a América mucha gratitud (totalmente aparte del hecho de que me gusta estar aquí). Que comprenderá las sombras que se interponen entre mí y Alemania. Y, por encima de todo, que comprenderá que a pesar de mi «No» le estoy muy agradecido por haber pensado en mí.

Diferente, pero no menos aleccionadora, es la estremecedora carta de Lise Meitner, que ya nos ha aparecido y volverá a aparecernos en el capítulo siguiente, cuando trate del descubrimiento de la fisión del uranio que realizaron a finales de 1938 Otto Hahn y Fritz Strassmann, este último el sustituto de Meitner, que como austríaca de origen judío había tenido que abandonar Alemania tras la anexión de Austria, después de muchos años de una eficaz e igualitaria colaboración con Hahn. El 27 de julio de 1945,

esto es, tras la derrota alemana, Meitner escribía la siguiente carta a Hahn:[27]

> Querido Otto:
>
> Tu última carta está fechada el 25 de marzo. Puedes imaginar lo ansiosa que estaba de recibir noticias de todos vosotros. He seguido constantemente los acontecimientos a través de los informes de guerra de la prensa inglesa, y creo poder suponer que la zona [Dahlem] en la que estáis tú y tu familia y Laue fue ocupada sin ninguna lucha. Por consiguiente, deseo con todo mi corazón que ninguno de vosotros haya sufrido personalmente. Naturalmente, será muy difícil para ti ahora, pero esto es inevitable, por supuesto. Por otra parte, estoy muy preocupada por los Planck, ya que en su zona se han producido combates terribles. ¿Sabes algo de ellos y de los amigos de Berlín? Un americano te llevará esta carta. La recogerá pronto, de manera que estoy escribiendo apresuradamente; y sin embargo, tengo tanto cercano a mi corazón que decir. Por favor, ten en mente esto, y por favor lee lo que escribo con la seguridad de mi inquebrantable amistad.
>
> Te he escrito muchas cartas mentalmente durante los últimos meses, porque estaba claro para mí que incluso personas como tú y Laue no os habéis dado cuenta de la situación real. Me he dado cuenta de ello con claridad cuando Laue me escribió con ocasión del fallecimiento de Wettstein que su muerte constituía también una pérdida en un sentido más amplio, ya que debido a su talento diplomático W[ettstein] podía haber sido muy útil al final de la guerra.[28] ¿Cómo un hombre que nunca objetó a los crímenes de los recientes años puede ser útil a Alemania? Ésta es, por supuesto, la desgracia de Alemania; el hecho que todos vosotros habéis perdido la noción de la justicia y de lo correcto. Tú mismo me dijiste en marzo de 1938 que Hörlein te había dicho que se estaban haciendo cosas terribles con los judíos.[29] De manera que él sabía de todos los crímenes que se habían planeado y después ejecutado, y a pesar de ello era miembro del Partido. Y tú mismo lo considerabas como una persona muy decente —también a pesar de ello— y permitías que influyese en ti en relación a tu comportamiento con tu mejor amigo.[30]
>
> Todos vosotros también habéis trabajado para la Alemania nazi y nunca habéis intentado una resistencia pasiva. Ciertamente, para engañar a vuestras conciencias de vez en cuando habéis ayudado a alguna persona que lo necesitaba, pero habéis permitido que millones de personas inocentes fuesen exterminadas sin efectuar la menor protesta.

Tengo que escribirte esto, por tu propio beneficio y por el de Alemania, que depende totalmente de que comprendáis lo que habéis permitido que suceda. Aquí, en la neutral Suecia mucho antes del final de la guerra se ha discutido acerca de lo que debería hacerse con los intelectuales alemanes una vez que finalizase la guerra. ¿Qué es lo que pensarán sobre el particular los ingleses y americanos? Yo y también muchos otros piensan que una solución para ti sería que realizases una declaración pública manifestando que eres consciente de que con tu pasividad has adquirido una responsabilidad compartida por lo que ha sucedido y que sientes la necesidad de ayudar a corregirlo, en la medida en que sea posible con algo que ya ha tenido lugar. Pero muchos piensan que es demasiado tarde para esto. Estas personas dicen que has traicionado primero a tus amigos, después a tus compañeros e hijos permitiendo que pusieran en peligro sus vidas en una guerra criminal, y finalmente que también has traicionado a Alemania, porque ni siquiera luchaste contra la absurda destrucción de Alemania cuando ya no existía ninguna esperanza en la guerra.

Esto suena inmisericorde y no obstante, créeme, es debido a la verdadera amistad que te escribo esto. No puedes realmente esperar que el resto del mundo tenga piedad de Alemania. Las inconcebibles atrocidades en los campos de concentración de las que se ha informado estos días sobrepasan todo lo que habíamos temido. Cuando escucho en la radio inglesa los muy realistas informes de ingleses y americanos sobre [Bergen]-Belsen y Buchenwald, comienzo a llorar y no puedo dormir en toda la noche.[31] Deberías haber visto a las personas que llegan aquí procedentes de estos campos. Alguien debería obligar a hombres como Heisenberg y a muchos otros millones a que vean estos campos y a las personas martirizadas allí. Su aparición [de Heisenberg] en Dinamarca en 1941 no se puede olvidar.

También debes recordar que mientras yo estaba todavía en Alemania (y hoy me doy cuenta de que no sólo fue estúpido sino muy injusto por mi parte no haberme ido inmediatamente) a menudo te decía: las cosas no irán mejor en Alemania mientras que solamente seamos nosotros los que pasemos noches sin dormir y no ocurra esto con todos.[32] Pero tú no pasabas ninguna noche sin dormir. No querías ver; era demasiado molesto. Podría demostrártelo con muchos ejemplos, pequeños y grandes. Por favor, créeme que todo lo que he escrito aquí es un intento de ayudaros a todos.

Con saludos muy afectuosos para todos. Tuya,

Es, ciertamente, una carta tan estremecedora como conmovedora, sobre la que se podría comentar mucho. Sin embargo, habla por sí sola. Únicamente efectuaré un comentario, relativo a lo que decía Meitner sobre Heisenberg, un episodio sobre el que han corrido ríos de tinta, especialmente después de que el dramaturgo londinense Michael Frayn (1933) escribiese la obra de teatro *Copenhagen*, representada por primera vez en el Royal National Theatre de Londres en mayo de 1998 y después en Nueva York en 2000.[33]

Werner Heisenberg visitó Dinamarca, entonces bajo ocupación alemana, en septiembre de 1941, para pronunciar una serie de conferencias sobre astrofísica en el recientemente establecido Deutsches Wissenschaftliches Institut (Instituto Alemán de Cultura).[34] Durante su visita, se entrevistó privadamente con su antiguo mentor, colega y amigo Niels Bohr. Sobre lo que pudieron haber hablado, es de lo que Frayn trata en su obra. Posteriormente, sin embargo, se ha hecho pública una serie de cartas existentes en el Archivo Bohr en Copenhague que después de la guerra intercambiaron Bohr y Heisenberg, y que arrojan luz sobre lo que sucedió. Aquí yo me limitaré a citar la primera de esas cartas, una, de hecho, que su autor, Bohr, nunca llegó a enviar (no está datada, pero debió de ser escrita en 1957), pero que incide en las cuestiones a las que aludía Meitner:[35]

> Querido Heisenberg:
>
> Personalmente, recuerdo cada palabra de nuestras conversaciones, que tuvieron lugar en un trasfondo de extrema tensión y tristeza para nosotros aquí en Dinamarca. En particular, produjo una fuerte impresión tanto en Margrethe [esposa de Bohr] y en mí, y en todos los del Instituto con los que los dos hablasteis, que tú y Weizsäcker [véase nota 34] expresaseis vuestra firme convicción de que Alemania ganaría la guerra y que por tanto no tenía sentido que mantuviésemos la esperanza de que se produjese un resultado diferente en la guerra y que nos mantuviésemos reticentes con relación a todas

> las ofertas alemanas de cooperación. También recuerdo con bastante claridad nuestra conversación en mi despacho del Instituto en la que en términos vagos hablaste de una manera que solamente me podría producir la firme impresión de que, bajo tu liderazgo, se estaba haciendo en Alemania todo lo necesario para desarrollar armas atómicas y que dijiste que no era necesario hablar sobre los detalles ya que estabas completamente familiarizado con ellos y habías pasado los dos últimos años trabajando de forma más o menos exclusiva en tales preparaciones. Escuché esto sin hablar ya que en todo ello estaba implicado tanto para la humanidad que, a pesar de nuestra amistad personal, teníamos que ser considerados como representantes de bandos enfrentados en un combate mortal. Que mi silencio y gravedad, como escribes en la carta,[36] pudiese ser tomado como una expresión de sorpresa ante tus informes de que era posible fabricar una bomba atómica es un mal entendimiento bastante peculiar, del que debe ser responsable la gran tensión de tu mente. Desde el día, tres años antes, que me di cuenta de que neutrones lentos podían producir la fisión del uranio 235 y no en el 238, fue, por supuesto, evidente para mí que se podría fabricar una bomba con ciertos efectos separando estos dos uranios...

Volveré más adelante a la relación de Heisenberg con el proyecto nuclear alemán. Ahora añadiré que su actividad como «embajador cultural» en naciones ocupadas por Alemania no se limitó a Dinamarca: durante los años 1942, 1943 y 1944, llevó a cabo varias giras pronunciando conferencias en Hungría, Holanda y Polonia, además de en la neutral Suiza. La dimensión oficial de todos estos viajes se muestra en el hecho de que requerían la aprobación de, entre otros, el Ministerio de Asuntos Exteriores y la Oficina de Extranjero del Partido. En su caso más que aprobados fueron propiciados; se les consideraba una buena propaganda, en tanto que ofrecían la mejor cara de la Alemania nacionalsocialista. Todo parece indicar, además, que Heisenberg participó en esta actividad de buen grado, aunque, naturalmente, es difícil saber con certeza si existían otros motivos además de los que interesaban al régimen. A la vista de cómo se desarrollaron los viajes esos motivos posibles no van más allá de los tres siguientes: 1) para

ayudar a colegas, amigos y conocidos siempre que le fuera posible, algo que, efectivamente, hizo a veces; 2) mantener a la ciencia y a los científicos apolíticos (la ciencia como una actividad sin fronteras); y 3) ayudar a Alemania a preservar su estatus de potencia cultural, económica y política mundial. En la práctica, fue la tercera de estas posibilidades la que dominó. En consecuencia, Heisenberg contribuyó a favorecer la expansión alemana, lo que amenazaba tanto a sus colegas como al tan deseado estatus de la ciencia como una actividad ajena a la política.

El exilio de científicos

Hasta ahora me he estado refiriendo sobre todo a los exiliados que abandonaron Europa central, sin distinguir sus profesiones; sin embargo, para los propósitos de este libro, lo verdaderamente interesante son los científicos que abandonaron los países dominados por Alemania. Utilizando el contenido del citado *Dictionary*, que incluye unas 8.700 biografías, así como los archivos de las instituciones que lo prepararon, Horst Moller ha estimado que al menos entre 2.400 y 2.500 de los emigrantes eran científicos.[37] De éstos, un 37 por 100 de los científicos e ingenieros se dirigió en primer lugar a Gran Bretaña, un 35 a Estados Unidos, un 8 a Suiza, el mismo porcentaje a Palestina; a Brasil y a Argentina un 5 (en cada caso) y un 3 a Francia. Como destino final, se tiene que el 57 por 100 de estos científicos e ingenieros se asentó en Estados Unidos; un 11 tanto en Gran Bretaña como en las pequeñas naciones neutrales europeas, y un 6 en Palestina.

Es evidente que semejante flujo sólo pudo dañar a Alemania. Fijémonos en los estudios universitarios. En las universidades, escuelas técnicas superiores y demás escuelas superiores científicas alemanas había en el semestre de invierno de 1930-1931 un total de 2.741 catedráticos (*ordentliche Professoren*). Además, pertenecían al cuerpo docente 1.741 catedráticos de rango inferior (*ausserordentliche Professoren*), con o sin categoría de

funcionarios, y 1.779 *privatdozenten*. De este conjunto de 6.261 científicos habilitados para enseñar en los centros de enseñanza superior, 517 eran eméritos o jubilados, de forma que sólo quedan 5.744 como profesores activos. Por consiguiente, el claustro de profesores comprendía 4.482 individuos (los *privatdozenten* no formaban parte de él). Si tenemos en cuenta que en 1938 ya habían sido expulsados de sus puestos alrededor de 1.500 profesores, entonces se ve que aproximadamente un tercio de los profesores alemanes universitarios fueron suspendidos de sus cargos, lo que da una medida de la pérdida que sufrió el sistema educativo superior alemán.[38] Y si nos atenemos a un índice como el de los premios Nobel en disciplinas científicas que abandonaron Alemania, la conclusión, referida ahora al conjunto de la ciencia germana, no parece ser muy diferente.

PREMIOS NOBEL QUE ABANDONARON SUS PUESTOS EN ALEMANIA ENTRE 1933-1945[39]

Física:	
Albert Einstein	1933
James Franck	1935
Erwin Schrödinger	1933/1938
Victor Hess	1936
Otto Stern	1943
Felix Bloch	1952
Max Born	1954
Eugene Wigner	1963
Hans Bethe	1967
Emilio Segrè	1973
Química:	
Fritz Haber	1933
Richard Kuhn	1940
Georg de Hevesy	1944
Otto Hahn	1945
Medicina o Fisiología:	
Otto Meyerhof	1938
Otto Loewi	1936
Gerhard Domagk	1945
Hans Krebs	1953

Max Delbrück	1937

De todos estos científicos, la mayoría se trasladó en último término a Estados Unidos. Las excepciones son las siguientes: Schrödinger, a Irlanda; Born, a Escocia; Gabor, a Inglaterra; Haber, a Inglaterra, aunque murió enseguida; Hevesy, a Suecia; Herzberg, a Canadá; Chain, a Inglaterra; Krebs, a Inglaterra.

La recepción ofrecida a los exiliados científicos en Estados Unidos y Gran Bretaña

La disponibilidad de un número elevado de intelectuales, de científicos, que son los que a mí me interesan aquí, significaba un problema para aquellas naciones que contemplaban con horror la tragedia que un régimen político estaba infligiendo a los judíos (o a aquellas personas activas políticamente que no compartían las ideas nazis). Precisamente porque se trataba en general de un grupo de personas altamente cualificado, no era sencillo que otras naciones pudiese recibirlo en un número tan grande.

Ya me he ocupado de la distribución por naciones de los exiliados; en lo que sigue, sin embargo, me referiré únicamente a Gran Bretaña y Estados Unidos, y ello por dos motivos. En primer lugar, porque colectivos importantes de ambas naciones dieron muestras con bastante rapidez de gran sensibilidad ante la tragedia que embargaba a colegas suyos. Y en segundo lugar, porque la mayoría de los físicos, químicos, biólogos y matemáticos más distinguidos que tuvieron que exiliarse fue a parar definitivamente a uno u otro de estos países (la mayor parte, de hecho, a Estados Unidos, aunque muchos pasasen al principio algún tiempo en Gran Bretaña).

Sociedades de auxilio

Muy poco después de que se promulgasen las leyes racistas nazis, se organizaron algunas sociedades destinadas a ayudar a los intelectuales germanos que se veían obligados a emigrar.[40] Los británicos formaron un Academic Assistance Council (Consejo de Ayuda Académica) que comenzó a actuar el 22 de mayo de 1933, fecha en la que emitió un comunicado que fue publicado por la prensa dos días después. La nota comenzaba de la manera siguiente:[41]

> Muchos académicos, científicos y profesores universitarios de todas las categorías y facultades están siendo obligados a abandonar sus puestos en las universidades de Alemania.
>
> Las universidades de nuestro país, así como las de otros, efectuarán —esperamos— todas las acciones que puedan para ofrecer empleo a estos hombres y mujeres, como profesores y como investigadores. Pero los recursos financieros de las universidades son limitados y están sujetos a exigencias para su normal desarrollo que no pueden ser ignoradas. Si la información que tenemos es correcta, la posibilidad de ayudar a algo más que a una pequeña fracción de los profesores que probablemente se verán condenados a la inactividad dependerá de la existencia de amplios fondos dedicados específicamente a este propósito. También parece claro que se necesitará alguna organización que actúe como centro de información y que ponga a los profesores implicados en contacto con las instituciones que puedan ayudarlos más.
>
> En consecuencia, hemos constituido un Consejo provisional para estos dos propósitos. Intentaremos establecer un fondo para que se utilice, fundamentalmente, aunque no exclusivamente, para mantener a investigadores y profesores que han perdido sus puestos, y para darles la oportunidad de trabajar en universidades e instituciones científicas.

Para cumplir semejante programa se solicitaba ayuda de todos, muy especialmente de aquellos «preocupados por la libertad y seguridad del conocimiento». Conscientes de los problemas que podían surgir si se identificaba la iniciativa únicamente con judíos, se tenía cuidado en señalar que «el llamamiento que se hace no se refiere por el momento únicamente a judíos; muchos que han sufrido o

que se encuentran amenazados no son de origen judío». Todos los fondos que se obtuvieran se considerarían «a disposición de profesores universitarios e investigadores de cualquier nación, que fuesen incapaces de proseguir sus trabajos en su propio país, por motivos religiosos, de opinión política, o raza».

El director de la London School of Economics, William Beveridge, ayudado por el físico húngaro Leo Szilard, uno de los científicos más perspicaces políticamente de aquellos tiempos (nos volveremos a encontrar con él en el próximo capítulo, cuando trate del desarrollo de la bomba atómica), desempeñó inicialmente un papel fundamental en la concepción de esta organización, que en 1936 pasó a denominarse Society for the Protection of Science and Learning (Sociedad para la Protección de la Ciencia y el Conocimiento).[42] El primer presidente de la Sociedad fue Ernest Rutherford, quien mantuvo el cargo hasta su muerte en 1937. Según Beveridge, «fue la actitud de Rutherford, más que ninguna otra cosa, lo que hizo posible constituir el Consejo con la esperanza de lograr un apoyo general entre los científicos. Lo encontré en un estado de explosiva indignación ante el tratamiento a que estaban siendo expuestos colegas suyos cuyo trabajo conocía íntimamente y que respetaba en grado sumo».[43] También se unieron al llamamiento inicial científicos como W. H. Bragg, J. S. Haldane, Lord Rayleigh, A. Schuster y J. J. Thomson.

Tal vez por la influencia de Beveridge, la London School of Economics dio un magnífico ejemplo al acordar la Junta de Profesores proponer que los *professors* (catedráticos) donasen a la Sociedad el 3 por 100 de su salario, el 2 por 100 los *readers* (profesores agregados) y el 1 por 100 los *lecturers* (profesores adjuntos). Como apuntaba Szilard a su colega estadounidense Gregory Breit, se esperaba que el ejemplo cundiese en otros colleges y universidades. También se pensaba en el efecto que estas contribuciones tendrían en los banqueros judíos, «que no podrán quedarse atrás con facilidad, en vista de la acción tomada por profesores no judíos, muchos de los cuales

están lejos de ser ricos». Poco antes del comienzo de la guerra, a finales de 1938, la Sociedad había ayudado a más de 2.000 científicos y profesores, centroeuropeos mayoritariamente pero no únicamente (1.400 alemanes, 400 austríacos, 150 italianos y 60 españoles), de los que 524 habían encontrado puestos permanentes en algún lugar del mundo.[44]

Estados Unidos también reaccionó con cierta rapidez ante el problema de los exiliados académicos alemanes. En abril de 1933 oficiales de la Fundación Rockefeller comenzaron a preocuparse por el destino de estas personas, algunas de las cuales ya conocían por haberlas apoyado en los programas académicos que controlaba la International Educational Board (ya me referí a este punto en el capítulo anterior). Con la ayuda de la Fundación (que entre 1933 y 1945 contribuyó con 1.411.000 dólares), se creó, pocas semanas después que su homónima británica, un Emergency Committee in Aid of Displaced German (más tarde Foreign) Scholars (Comité de Emergencia para la Ayuda a Investigadores Alemanes/Extranjeros Desplazados).[45] De los 613 universitarios incluidos en los archivos del Emergency Committee, no menos de 459 llegaron a enseñar o a investigar en centros estadounidenses.[46]

Dificultades de acogida en Gran Bretaña

He comenzado esta sección señalando que al contrario de lo que algunos pueden pensar, dada la notoriedad de muchos de los nombres que se manejan, la acogida de científicos centroeuropeos no resultó un proceso fácil. Está claro que Gran Bretaña, al ser una nación relativamente pequeña, poseer una larga tradición de alto nivel científico y ser su estructura universitaria bastante estática, contaba con suficientes británicos como para que le fuera muy difícil acoger un número elevado de profesores universitarios. Además, la llegada de los refugiados coincidió con un mal momento: desde comienzos de la

década de 1920 sufría, al igual que Alemania, Austria e Italia, una situación de recesión, que el hundimiento del mercado de valores neoyorquino de 1929 no hizo sino acentuar. Durante la Primera Guerra Mundial, Gran Bretaña había perdido (con frecuencia en favor de Estados Unidos) una buena parte de los mercados extranjeros, de las inversiones foráneas, de su marina mercante y de sus ingresos procedentes de ultramar. Sin embargo, seguía dependiendo —acaso más que antes— de las importaciones de alimentos y materias primas. Tenía necesidad de exportar, pero aumentaba el desempleo. En 1921, más de un millón de trabajadores —aproximadamente una séptima parte de la población activa— no tenía trabajo; a lo largo de la década de 1920, la tasa de desempleo pocas veces fue menor al 10 por 100, y en los peores años de la Depresión llegó a más del 25 por 100.[47]

Naturalmente, la Depresión también afectó al mundo universitario. Veamos cómo ha descrito la situación en que se encontraba el mercado de trabajo para graduados superiores F. A. B. Ward, que en 1931 acababa de obtener un doctorado en Física por Cambridge:[48]

> Tal vez la mitad de los graduados en física [en Cambridge] terminaban dedicándose a la enseñanza. Alrededor de un cuarto continuaban en Cambridge investigando en física. Otro cuarto iba a la industria o a trabajos similares. En 1927 era razonablemente fácil encontrar trabajo. En 1931, cuando yo estaba buscando empleo, la Gran Depresión estaba comenzando y eran menos los trabajos. Yo fui nombrado aquel año *assistant keeper* [ayudante de conservador] en el Museo de la Ciencia; dos años después, en 1933, la Depresión estaba en pleno apogeo y otro puesto del mismo rango que el mío en el Museo de la Ciencia quedó vacante. Aparecieron ochenta aspirantes cualificados, incluyendo quince doctores [PhD]. El trabajo fue a parar a uno de éstos, un graduado de Oxford.

La situación general era, efectivamente, mala, pero cuando se están considerando acontecimientos que se produjeron en los alrededores de 1933, hay que tener en cuenta dos factores: por un lado, que el colapso económico

de 1929-1932 no afectó a Gran Bretaña tanto como a Estados Unidos; cuando se comparan índices como «producción manufacturada», «renta per cápita» y «empleo», vemos que la nación europea sufrió mucho menos que la norteamericana.[49] Por otra parte, hubo algunas excepciones a la recesión predominante: el desarrollo socioeconómico de la ciencia e industria mundiales había llegado a tal grado que el período de entreguerras se caracterizó, especialmente en Estados Unidos pero también en Gran Bretaña, por el establecimiento de numerosos nuevos laboratorios industriales de investigación. Aunque ya me he referido en el capítulo 2 a este apartado de la historia de la ciencia estadounidense, y volveré al tema con algo más de detenimiento en otra sección del presente capítulo,[50] no está de más señalar ahora que en 1931 más de 1.600 compañías norteamericanas disponían de tales instalaciones, en las que trabajaban aproximadamente 33.000 personas. Durante la Depresión se produjeron recortes, pero no muy importantes, y en cualquier caso el crecimiento se reanudó pronto: en 1940 eran más de 2.000 las corporaciones que contaban con laboratorios de investigación, en los que trabajaban unas 70.000 personas (especialmente químicos e ingenieros).[51] En Gran Bretaña, el gasto en laboratorios industriales de investigación se multiplicó por tres entre 1930 y 1938, lo que permitió que algunos emigrados pudiesen ser contratados allí: W. F. Berg (Kodak), D. Gabor (British Thomson-Houston), O. Klemperer y W. Ehrenburg (Electrical and Musical Instruments), O. Kantorowicz (General Electric Company), W. Saraga (Telephone Manufacturing Company), K. Weissenberg (Shirley Institute y más tarde British Rayon Research Institute), J. Wolloch (Wardle Engineering) y W. Zehden (Adam Hilger Ltd).[52]

Para los físicos, el Laboratorio Cavendish era el centro más avanzado de investigación en física atómica y nuclear de todo el Reino Unido. Sin embargo, allí, según John Cockcroft, «existía un número muy limitado de puestos... y

para cualquiera que quedara vacante existía un montón de jóvenes que podrían ocuparlo. Gente local, como Oliphant, o yo mismo, o Feather o Dee estaban buscando empleo... De manera que no era muy fácil acomodar a un número grande de refugiados en el Cavendish en aquella época».[53] De hecho, fueron las universidades menos importantes las que acogieron, al menos en principio, a un mayor número de científicos. Así, Max Born, todo un *herr professor* en Gotinga y como sabemos uno de los creadores de la mecánica cuántica, tuvo que ir a Edimburgo; Rudolf Peierls, a Birmingham; Walter Heitler y Herbert Fröhlich, a Bristol; Otto Frisch, a Birmingham primero y a Liverpool después,[54] y ni Hans Bethe, ni Fritz London, ni siquiera Schrödinger, encontraron (o no tuvieron la paciencia suficiente para esperar el tiempo necesario) puestos permanentes, por lo que tuvieron que trasladarse a otros lugares (Estados Unidos e Irlanda en estos casos).[55]

A pesar de que fueron más los que estuvieron de paso hacia otros destinos que los que se establecieron de manera permanente en Gran Bretaña, hay que reconocer que estos últimos resultaron muy productivos, como indica el hecho de que de los que se quedaron treinta eran, en 1951, *fellows* de la Royal Society.

El caso de Estados Unidos

El otro lado del Atlántico fue el destino final para la mayor parte de los científicos exiliados más eminentes. Ahora bien, al igual que en el caso británico, en el Nuevo Mundo aquellos emigrantes encontraron dificultades, de las que me ocuparé enseguida. Antes, sin embargo, es preciso comprender la situación en que se encontraba la ciencia estadounidense en los años treinta y, en particular, los vínculos que se habían establecido entre ciencia y científicos germanos y norteamericanos.

Visitantes y emigrantes europeos con anterioridad a 1933

Los científicos europeos que llegaron a partir de 1933 no fueron los primeros en visitar Estados Unidos, ni siquiera en establecerse allí. De hecho, Norteamérica podía presumir por entonces de una cierta tradición en lo que a recibir científicos ilustres se refiere. Veamos algunos ejemplos relacionados con la física.[56] Entre octubre de 1872 y enero de 1873, el británico John Tyndall, un notable —aunque no demasiado prolijo— científico además de divulgador, pronunció conferencias populares sobre la luz en Boston, Filadelfia, Baltimore, Washington D. C., New Haven y Nueva York. En 1884, William Thomson (aún no Lord Kelvin) dictaba una serie de veinte conferencias en la Universidad Johns Hopkins, que constituirían una obra célebre en la historia de la ciencia: *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light* (*Conferencias de Baltimore sobre la teoría ondulatoria de la luz*). En 1896, J. J. Thomson desarrolló un curso en Princeton, publicado más tarde con el título de *The Discharge of Electricity Through Gases* (*Descargas eléctricas a través de gases*); en 1903, el director del Cavendish repetiría la experiencia, pronunciando las *Silliman Lectures* de Yale, publicadas como *Electricity and Matter* (*Electricidad y materia*). En septiembre de 1904 se reunían (y dictaban conferencias) en San Luis, con motivo del ya mencionado en el capítulo 2 Congreso sobre «Arte y Ciencia», celebrado como parte de la Exposición Universal que se estaba celebrando allí, Svante Arrhenius, Ludwig Boltzmann, Paul Langevin, Wilhelm Ostwald, Henri Poincaré y Ernest Rutherford.[57] Antes de ir a St. Louis, Boltzmann pasó el verano en la Universidad de California, en Berkeley, como parte de los esfuerzos por modernizar aquella institución. Más tarde expresó algunas de sus impresiones en la siguiente forma:[58] «América logrará grandes cosas. Creo en esta gente, incluso aunque he observado en ellos ciertas torpezas, como cuando tratan con el cálculo integral y diferencial en un seminario de física teórica. Lo hacen más o menos tan bien como cuando yo salto zanjas y subo y bajo colinas, actividades que uno no puede evitar en el

campus de Berkeley».

Walther Nernst fue a la Universidad de Yale en 1906; Lorentz, Planck y Wilhelm Wien, a la de Columbia (Nueva York) en 1906, 1909 y 1913, respectivamente. Después de la Primera Guerra Mundial se reanudó el flujo de visitantes europeos: Einstein enseñó en Princeton en 1921, durante su gira a lo largo y ancho de Estados Unidos; Lorentz estuvo en 1922 en Caltech (Instituto Tecnológico de California), el mismo lugar en el que el físico británico Charles Galton Darwin pasó todo el año académico 1922-1923; entre septiembre de 1922 y abril de 1923, Sommerfeld circuló por diversos centros (Wisconsin, Urbana, en Illinois, y National Bureau of Standards); entre octubre y diciembre de 1923, Bohr visitaba varias universidades: Amherst College, Harvard, Nueva York, Princeton, Yale (*Silliman Lectures*), Chicago y Ann Arbor;59 Peter Debye pasó el semestre de primavera de 1924 en el Massachusetts Institute of Technology, siendo reemplazado los semestres de otoño e invierno por Max Born (que regresaría en noviembre de 1925, permaneciendo hasta enero de 1926). Aquel mismo año (1924), Paul Ehrenfest, Arthur Eddington y Hendrik Lorentz también visitaban Estados Unidos. En 1927 estuvieron Schrödinger, Abram Ioffe, Arthur Milne y William L. Bragg; en 1928, Léon Brillouin, James Franck, Kramers y Weyl; en 1929, Heisenberg, Paul Dirac, Alfred Landé y Friedrich Hund; en 1930, Fermi, Einstein, von Laue, Yakov Frenkel, Otto Stern y Gregor Wentzel. Y muchos ejemplos más.60

Con el tiempo, las universidades estadounidenses no buscaron sólo visitantes, sino también profesores europeos que se afincaran definitivamente en Norteamérica. En la década de los veinte, los «ojeadores» universitarios buscaban especialmente físicos, en particular teóricos (al fin y al cabo era el momento de la física teórica). Paul S. Epstein, un estudiante de Sommerfeld, fue contratado por Caltech en 1922; en 1923 Michigan invitó a Oskar Klein, y cuando éste se marchó, convenció a Otto Laporte en 1926, y en 1927 a Samuel Goudsmit y George Uhlenbeck, para

que se unieran a su departamento de física; Llewellyn H. Thomas (1929) y Alfred Landé (1931) fueron a Ohio; Karl F. Hertzfeld, a Johns Hopkins (1926), y John von Neumann y Eugene Wigner, a Princeton (1930), al principio a tiempo parcial, de manera permanente poco después.

Inmigración durante la Gran Depresión[61]

Si tomamos como indicador la renta nacional, la Gran Depresión que siguió al *crack* de 1929 duró aproximadamente una década. El nivel más bajo se alcanzó en 1933, precisamente el año en que comenzó el exilio. A partir de entonces comenzó la recuperación, aunque no se volvió a la renta de 1929 hasta 1937. Como no podía ser menos, la Depresión se sintió también en todos los ámbitos relacionados con la ciencia, esto es, en los destinos posibles de los exiliados. Por supuesto, la quiebra del mercado de valores afectó a la industria, pero las inversiones que ésta hacía en lo que ahora denominamos I+D (Investigación y Desarrollo) siguieron creciendo en general aunque a un ritmo más suave, salvo durante los años 1931-1933 en que se mantuvo constante.[62] Por consiguiente, continuaron creándose laboratorios industriales, aunque menos (la mitad aproximadamente) que en años anteriores. Veamos cuáles fueron los números correspondientes, partiendo desde 1920 y llegando hasta 1940.[63]

LABORATORIOS INDUSTRIALES DE INVESTIGACIÓN CREADOS EN EE. UU., 1920-1940

Año	*Número*	*Número acumulado*
1920	59	589
1921	35	624
1922	39	663
1923	64	727
1924	64	791
1925	75	866
1926	76	942
1927	84	1026
1928	84	1110

1929	964
1930	1.893
1931	1.474
1932	1.416
1933	1.273
1934	1.292
1935	1.413
1936	1.564
1937	1.286
1938	1.304
1939	1.325
1940	1.338

A partir de ese momento, se intensificó la recuperación.

Al hecho de que la creación de puestos de trabajo en laboratorios industriales de investigación no aumentase como en años anteriores hay que añadir, en lo que al exilio científico se refiere, que no todos los inmigrantes estaban dispuestos a, o disponían de habilidades para, trabajar en tales instituciones; los de más edad o los más creativos y eminentes buscaban universidades, no industrias. Incluso en el supuesto de que se estuviese dispuesto a trabajar para la industria, ¿qué podía ofrecer a ésta en los años treinta, por ejemplo, un físico nuclear que no quisiese reciclarse (lo que, por otra parte, disminuiría sus posibilidades)? Los químicos e ingenieros tenían muchas más posibilidades que los físicos, como se puede comprobar sólo con ver el número de personas que trabajaban para la industria en aquellos años: en 1933, de un total de 27.567 profesionales vinculados a I+D en 1.462 corporaciones, 414 eran físicos, 5.541 ingenieros y 7.526 químicos.[64]

Ocurre, sin embargo, que el delicado y mayoritariamente no estatal mundo universitario estadounidense también sintió la crisis, acaso aún más que los laboratorios industriales. Un sondeo realizado en el otoño de 1933 en 246 colleges revelaba que éstos habían tenido que recortar su profesorado en más de 2.000 personas desde junio de 1930. Hasta el curso 1934-1935 no comenzó la recuperación, lo que quiere decir que la crisis

coincidió con la puesta en vigor de las medidas raciales alemanas. Y todavía en 1940 se sentían las secuelas de la Depresión. En palabras del matemático Lipman Bers, que después de recibir su doctorado en la Universidad de Praga en 1938, se unió a las filas de los emigrantes a Estados Unidos en 1940:[65] «Obtener un empleo como matemático durante aquella época no era una cosa fácil, ni siquiera para los americanos. Mientras que el nivel científico de la matemática americana era muy alto..., la situación económica de la profesión no era favorable en absoluto. La Depresión no había pasado totalmente, y los empleos eran escasos. Solamente existían dos puestos posdoctorales en todo el país. Las cargas docentes eran muy pesadas y la mayor parte de las asignaciones docentes involucraban temas elementales. Excepto en unas pocas instituciones privilegiadas, no se esperaba que se investigase, ni se valoraba este aspecto. Las promociones eran lentas».

Por supuesto, la crisis no afectó por igual a todas las instituciones educativas, pero de una u otra manera se dejó notar en prácticamente todas. En el Departamento de Física de la Universidad de California, en Berkeley, por ejemplo, se preparó una reducción del 25 por 100 del número de *teaching fellows* (ayudantes para clases) para el curso 1933-1934, al igual que de un 30 por 100 en el gasto; asimismo, se eliminaron cursos (los alumnos llegaban en menores cantidades), y se prescindió de los nombramientos por un semestre de profesores extranjeros. A todo esto hay que añadir que el número de doctores había crecido mucho (y seguía creciendo). Veamos primero lo que ocurría en la física (que recibió un contingente importante de exiliados), en un área geográfica particular pero en auge, California:[66]

DOCTORADOS (PHD) EN FÍSICA, 1901-1930

Univ. de California	*Año*	*Estado*
1901-1905	10	1
1906-1910	0	0
1911-1915	5	0
1916-1920	7	2
1921-1925	19	3

No es sorprendente que en 1933 Linus Pauling se dirigiese a Samuel Goudsmit en los siguientes términos:[67] «No tengo la menor idea de en dónde puede obtener un puesto [tu antiguo alumno]. Caltech está lleno ahora con nuestros propios doctores y con antiguos *National Research fellows* que esperan un pequeño estipendio. Es una vergüenza que estos hombres tan capaces se encuentren sin empleo.»

Pasando ahora a datos más globales, desglosados, por un lado, en «ciencias naturales (física, matemáticas, ciencias de la tierra y ciencias biológicas)» y por otro en «química» (que acaparaba un número mayor de doctorados que las restantes disciplinas científicas), tenemos:[68]

Doctorados, 1900-1940					
Año	*Todas las disciplinas*	*Ciencias naturales*	*% (del total)*	*Química*	*% (del total)*
1900	382	167	43,7	69	18,1
1905	369	162	43,9	67	18,2
1910	443	193	43,6	78	17,6
1915	611	268	43,9	107	17,5
1920	615	268	43,6	104	16,9
1925	1.246	533	42,8	220	17,7
1929	1.746	698	40,8	229	13,1
1930	2.299	945	41,1	332	14,4
1931	2.601	1.054	40,5	368	14,1
1932	2.654	1.044	39,3	362	13,6
1933	2.712	1.150	42,4	420	15,5
1934	2.830	1.212	42,8	436	15,4
1935	2.715	1.140	42	402	14,8
1936	2.770	1.212	43,8	461	16,6
1937	2.771	1.238	44,7	510	18,4
1938	2.933	1.284	43,8	439	15
1939	3.059	1.382	45,2	502	16,4
1940	3.290	1.459	44,3	532	16,2

Las partidas dedicadas a la ciencia dentro de los presupuestos federales también sufrieron, por supuesto, las consecuencias de la Depresión. Dada la dinámica de preparación de los presupuestos, el efecto empezó a sentirse especialmente a partir de 1931, no comenzando la

recuperación hasta 1937.[69] Si nos fijamos en una agencia federal dedicada exclusivamente a la ciencia y a la tecnología, el National Bureau of Standards, el laboratorio nacional de Estados Unidos (que, de hecho, era el departamento federal que más físicos empleaba), tenemos que en 1931 su presupuesto fue de 3.904.000 dólares; en 1933 había descendido a 2.308.000, y en 1934 era de únicamente 1.755.000, menos de la mitad que dos años antes. Sólo recuperó el nivel de 1931 en 1940.[70]

En definitiva, seguía aumentando el número de nuevos doctores, había menos puestos en las universidades, se disponían de presupuestos más pequeños en las instituciones federales y se creaban menos laboratorios en las industrias (aunque *se creaban*, que es lo realmente importante). En otras palabras, el presente —y a través de aquel presente, el futuro también— no parecía esperanzador para los jóvenes científicos norteamericanos. Ante semejante situación, es comprensible no ya que los inmigrantes centroeuropeos tuviesen dificultades para encontrar empleos, sino que se encontrasen con actitudes claramente hostiles. El 13 de agosto de 1933, Norbert Wiener escribía al matemático húngaro Otto Szasz, entonces profesor en Königsberg, pero que, por ser judío, ya debía de estar considerando emigrar (se trasladó a Estados Unidos en 1934) que «todo profesor extranjero importado significa un americano sin trabajo... Todo nombramiento por más de un año causaría un sentimiento de resentimiento que echaría por la borda cualquier esperanza de hacer algo». En 1935, Arthur Compton consideraba «no ético dar puestos a europeos en Estados Unidos, cuando muchos científicos americanos se encuentran todavía sin empleo».[71]

Tampoco faltaron reacciones antisemitas (el antisemitismo era un sentimiento relativamente frecuente en el mundo académico americano anterior a la Segunda Guerra Mundial). Ya en 1922, cuando el presidente de Harvard, A. Lawrence Lowell, insistió en establecer un límite al número de los estudiantes judíos que se querían

matricular, *The Nation* comentaba: «Harvard no es la primera universidad americana en intentar limitar la proporción de judíos en sus centros. Es, simplemente, la más franca».72 En el último párrafo de una entusiasta carta de recomendación que Percy Bridgman enviaba el 24 de julio de 1925 a Rutherford en favor del recién graduado Robert Oppenheimer, que quería trabajar con el célebre físico neozelandés, el profesor de Harvard, futuro premio Nobel, advertía a su colega del Cambridge inglés: «Como revela su nombre, Oppenheimer es judío, pero no tiene en absoluto las características habituales de su raza. Es un alto, bien parecido joven, de maneras algo tímidas, y creo que no debe tener ninguna reserva por una razón de este tipo al considerar su solicitud».73 En 1931, el matemático H. E. Slaught de la Universidad de Chicago escribía acerca de un astrónomo matemático a R. G. D. Richardson, secretario de la American Mathematical Society y director del Departamento de Matemáticas de Brown University: «Es uno de los pocos hombres de ascendientes judíos que no te saca de tus casillas y que se comporta realmente como un gentil en un grado satisfactorio». Un decano de Kentucky, Paul P. Boyd, escribía en 1935: «Ya sabes que hay que ser cuidadoso acerca de tener a demasiados judíos juntos».74

Las dificultades a que tenían que enfrentarse los exiliados europeos que llegaron a Estados Unidos a partir de 1933 no impidieron que un buen número de ellos pudiese continuar desempeñando su profesión, la de investigadores científicos, al otro lado del Atlántico. Pero ese «buen número» estuvo formado principalmente por científicos muy por encima de la media; los obstáculos existentes sirvieron de filtro, que, por lo que sabemos, en general sólo atravesaron los mejores. Difícilmente podría haber sido de otro modo: la nación que encontraron los científicos europeos a partir de 1933 ya había comenzado hacía tiempo su camino hacia las máximas alturas de la ciencia internacional; en física, al igual que en biología, astrofísica, química o matemáticas, se podían encontrar, en medidas diferentes, cierto es, pero siempre en algún grado,

buenos —en ocasiones hasta excepcionales— profesionales, y sobre todo, profesionales *jóvenes* competentes. Y ya se sabe que la generosidad de las naciones es siempre limitada.

En cualquier caso, no hay duda de que Estados Unidos se benefició de la diáspora científica centroeuropea. La lista siguiente, que no pretende ser exhaustiva, da una idea del conocimiento, del genio, que llegó al Nuevo Mundo impulsado por la estúpida intransigencia nazi.

Algunos emigrados notables a Estados Unidos en el campo de las ciencias físico-matemáticas y biológicas[75]

Físicos: Hans A. Bethe (1935), Felix Bloch (1934), Peter Debye (1940), Albert Einstein (1933), Enrico Fermi (1939), James Franck (1933), Philipp Frank (1938), Maurice Goldhaber (1938), Victor F. Hess (1938), Fritz London (1939), Franco Rasetti, Bruno Rossi (1939), Emilio Segré (1938), Otto Stern (1933), Leo Szilard (1938), Edward Teller (1935), Victor Weisskopf (1937).

Astrofísicos: Walter Baade, Rudolph Minkowski (1935), Martin Schwarzschild (1937).

Químicos: Kasimir Fajans (1936), Herman F. Mark (1940), Eugene Rabinowitch (1938; a partir de 1947 se dedicó preferentemente a la botánica y a la biología).

Matemáticos: Emil Artin (1937; regresó a la República Federal Alemana en 1958), Salomon Bochner (1933), Richard Courant (1934), William Feller (1939), Kurt Gödel (1940), Karl Menger (1937), Richard von Mises (1939), Emmy Noether (1933), Alfred Tarski, Stam Ulam (1936), Hermann Weyl (1933).

Ciencias bioquímicas y biomédicas: Konrad Bloch (1935), Ernst Caspari (1938), Erwin Chargaff (1934/35), Max Delbrück (1937), Heinz Fraenkel-Conrat (1936), Kurt Goldstein (1934), Fritz Lipmann (1939), Otto Loewi (1940), Salvador Luria, Otto Meyerhof (1940), David Nachmansohn (1939), Hans Neurath (1935).

El ocaso de la ciencia alemana: exilio, fascismo y la bomba atómica

Aunque centrado en el exilio científico, el presente

capítulo tiene su razón de ser en la situación política alemana a partir de enero de 1933. En este sentido, se debe señalar que hay otras cuestiones que considerar además de la ya apuntada pérdida que para la cultura y la ciencia germanas representó la emigración forzosa de un número tan elevado de intelectuales, entre los que figuraban una buena parte de los mejores científicos de la época. Es cierto que se puede argumentar que abandonaron Alemania más científicos importantes (especialmente en el campo de la física) que los que se quedaron. Pero no hay duda de que también permanecieron buenos profesionales en Alemania, incluso algunos realmente extraordinarios. Werner Heisenberg destaca por encima de todos, pero se pueden citar asimismo los nombres de (limitándome de nuevo al caso, más estudiado, de la física) Max Planck, Arnold Sommerfeld, Otto Hahn, Max von Laue, Walther Gerlach, Walter Bothe, Pascual Jordan o el joven Carl-Friedrich von Weizsacker. Por este motivo, y teniendo en cuenta que la Segunda Guerra Mundial significó indudablemente el final de la hegemonía de la ciencia germana, especialmente cuando se la compara con la estadounidense, es necesario considerar otras cuestiones relativas a cómo afectó el régimen y políticas nacionalsocialistas a la ciencia alemana.[76] A continuación abordaré algunas de tales cuestiones, en particular las relacionadas con el hecho de por qué Alemania no consiguió desarrollar bombas atómicas, a pesar de que existiera un proyecto nuclear, uno de cuyos fines posibles era, precisamente, el de construir semejantes armas.

Ciencia, fascismo y democracia (I)[77]

¿Favorece la democracia al desarrollo científico? Ésta es una pregunta que ha sido formulada con cierta frecuencia. El ejemplo de Alemania durante el régimen nacionalsocialista parece, en principio, particularmente conveniente para intentar contestar tal cuestión. Esto, al menos, es lo que hizo el físico de origen holandés emigrado

a Estados Unidos en 1927 Samuel Goudsmit (1902-1978), cuyo prestigio científico se debe a haber introducido junto con George Uhlenbeck (1900-1988), otro joven estudiante de Leiden como él, el concepto de espín en la física cuántica. Oficial del ejército estadounidense, Goudsmit dirigió la misión «Alsos» que este mismo ejército montó en Europa, cuando las fuerzas aliadas estaban invadiendo en 1944 los dominios nazis, para obtener información de hasta dónde había llegado la ciencia —especialmente la física nuclear— germana, así como para capturar a científicos alemanes, en particular, antes de que lo hicieran los soviéticos. Con las experiencias acumuladas durante aquella misión, Goudsmit escribió un libro titulado también *Alsos*. En la introducción al mismo, el físico holandés escribió:[78] «En las páginas que siguen he recopilado las circunstancias que llevaron a la misión y he intentado narrar cómo llevó a cabo Alsos su trabajo de "detectivismo" científico y lo que descubrió. Obviamente, si la única conclusión que extraer de mi exposición fuese que la ciencia americana demostró ser superior a la ciencia alemana, al menos en el campo de la física nuclear, entonces este libro difícilmente sería necesario. Más bien, estoy interesado en el por qué la ciencia alemana fracasó allí donde los americanos y británicos triunfaron, y creo que *los hechos demuestran de manera bastante concluyente que la ciencia bajo el fascismo no fue, y con toda probabilidad nunca será, igual a la ciencia en una democracia*».[79]

Como el propio Goudsmit reconocía en esta cita, el principal punto de apoyo de su afirmación relativa al fascismo, la democracia y la ciencia se encontraba en el ámbito de la física nuclear; dicho de manera más escueta y cruda: en el hecho de que los Aliados consiguieron construir una bomba atómica y Alemania no. Para el director de «Alsos» los alemanes fracasaron porque su ciencia estuvo disminuida por el dogma nazi. Y lo estuvo, según él, no sólo porque expulsó y persiguió a los científicos de origen judío, sino porque «hizo impopulares ciencias "no arias" como la física moderna, con la

consiguiente pérdida de estudiantes prometedores... La educación de los pocos estudiantes que se atrevieron a estudiar las abstractas ciencias "no arias" se deterioró progresivamente». Por si fuera poco, los «pocos científicos genuinos que quedaron para remediar esta situación resultaron inadecuados», tanto porque «tuvieron que luchar contra los oficiales nazis como porque muchos de sus colegas fueron infectados por la misma neurosis nazi».

Desgraciadamente, los hechos no parecen ser tan diáfanos y determinantes como pretendía Goudsmit. La ciencia germana, y en particular la física sufrió, como ya he dicho repetidas veces, debido a la emigración forzosa de un elevado número de investigadores, pero el potencial científico alemán era tan grande que todavía quedaron recursos humanos importantes, y además —y aquí llegamos a uno de los punto esenciales— la dinámica interna de la ciencia alemana durante los años del régimen nazi no se puede reducir a simplificaciones que se han repetido con frecuencia: una ciencia dominada por antisemitas, que repudiaban, por encima de todo, las teorías del judío Einstein, que defendían una supuesta física aria (*Deutsche Physik*), y que, en definitiva, sumieron a la ciencia que quedó en un profundo oscurantismo, una de cuyas consecuencias fue la incapacidad de desarrollar un proyecto nuclear que produjese armas atómicas.

La Deutsche Physik[80]

Los protagonistas principales en la historia de la Deutsche Physik fueron dos físicos, con los que ya nos hemos encontrado, Philipp Lenard (1862-1947; premio Nobel de Física de 1905 por sus estudios sobre los rayos catódicos) y Johannes Stark (1874-1957; premio Nobel de Física de 1919 por sus descubrimientos del desdoblamiento de las rayas espectrales bajo la influencia de un campo magnético y del efecto Doppler en los rayos canales). El caso de Lenard es representativo del mandarín académico germano intensamente nacionalista y conservador. La

derrota en la guerra de 1914 le afectó profundamente, y así se entiende, por ejemplo, la gran animadversión (a la que me referí en el capítulo 7) que comenzó a sentir por Einstein, que reunía casi todas las características que Lenard odiaba: pacifista, internacionalista, progresista y famoso mundialmente. Por si fuera poco, la relatividad especial parecía repudiar el concepto de éter, al que Lenard estaba firmemente apegado. Que además fuera judío no fue algo importante inicialmente, pero terminó siendo esencial para que este profesor de Heidelberg se uniera, durante la República de Weimar, a las filas del antisemitismo.

El caso de Stark no es excesivamente diferente, aunque sí contiene algunos elementos específicos. Al contrario que Lenard, Stark estuvo muy interesado desde el principio en asuntos de organización de su disciplina. Temía, por ejemplo, que la República de Weimar se hiciera con el control del sistema académico e identificaba a los progresistas físicos de Berlín (no todos lo eran desde luego) como el instrumento de tal control, especialmente a través de la Deutsche Physikalische Gesellschaft (Sociedad de Física Alemana). En consecuencia, creó en abril de 1920 una asociación que estuviese bajo su mando: la Fachgemeinschaft deutscher Hochschullehrer der Physik (Asociación Profesional de Profesores de Física de Educación Superior). Sin embargo, la elección de Wilhelm Wien, otro oponente de los físicos berlineses y uno de los primeros aliados de Stark, para la presidencia de la Deutsche Physikalische Gesellschaft, durante el congreso de la Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte celebrado en Bad Nauheim, en septiembre de 1920, desbarató las esperanzas y planes de Stark.[81]

El fracaso de Lenard y Stark en conseguir el poder dentro de su disciplina, y la frustración de verse sometidos a un régimen como el de la República de Weimar, fueron acentuando sus ideologías conservadoras. Así, cuando Hitler fue encarcelado, brevemente, el 1 de abril de 1924 por su participación en el fallido golpe de noviembre de 1923 en Múnich, ambos salieron en su defensa

públicamente con un artículo publicado el 8 de mayo en el *Grossdeutsche Zeitung*. «Hemos tenido la satisfacción», comenzaban aquel artículo, «de recibir un reconocimiento general como científicos y querríamos hablar aquí como tales. Siguiendo nuestros sentimientos más profundos, queremos hacer público, como científicos, nuestro reconocimiento a Hitler y sus camaradas. Encontramos ... en ellos el mismo espíritu que nosotros mismos constantemente hemos buscado, dirigido hacia y expresado en nuestro propio trabajo para hacerlo más profundo y exitoso: el espíritu de total claridad, de honestidad hacia el mundo exterior, y al mismo tiempo de uniformidad interna; ese espíritu que odia cualquier actividad de compromiso porque no es sincera. Pero ya hemos reconocido hace mucho y reverenciado este, para nosotros ejemplar, espíritu también en los grandes científicos del pasado: en Galileo, Kepler, Newton y Faraday. Lo admiramos y reverenciamos de la misma manera también en Hitler, Ludendorff, Pöhner y en sus camaradas.[82] Reconocemos en ellos la más estrecha afinidad de sus ideas con las nuestras».[83]

Este gesto de los premios Nobel no fue olvidado, y cuando los nazis llegaron al gobierno en 1933, los dos ambiciosos científicos se encontraron en una situación aparentemente inmejorable (Stark se había afiliado al Partido el 1 de abril de 1930; Lenard no lo haría hasta 1937). Después de la retirada de Friedrich Paschen de la presidencia del Physikalische-Technische Reichsanstalt, y a pesar de la abierta oposición de los físicos consultados (von Laue, por ejemplo), Stark fue nombrado su sucesor el 1 de mayo de 1933. Aunque demasiado viejo (ya estaba jubilado) para acceder a puestos importantes dentro del Tercer Reich, Lenard recibió algunos honores del nuevo régimen, entre ellos senador de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft. Creyente ya a ultranza en las doctrinas raciales nazis, Lenard prosiguió, ahora en un medio más favorable, con sus ataques a Einstein. Pensaba, además, que era necesario depurar la física, dominada por el pensamiento judío, para lo cual comenzó a preparar un texto en el que se

pudiese estudiar la «física aria». Así, en 1936 apareció su libro, *Deutsche Physik*.

A pesar de sus prometedores (para los seguidores de estos físicos) comienzos, ni la «física aria», instrumentada por Lenard, ni la física partidista de Stark consiguieron hacerse con el poder de la disciplina. Y no lo lograron por dos razones principalmente. En primer lugar, por la torpeza política de ambos, que no supieron orientarse y buscar los apoyos convenientes en la complicada jungla nacionalsocialista. Más aún, cuando seleccionaron un objetivo de entre los científicos que se habían quedado en Alemania y que se oponían a su burdo y resentido discurso ideológico, escogieron nada más y nada menos que a Werner Heisenberg, citando también a otros como Planck y von Laue.[84] Si hubiesen apuntado hacia un blanco más fácil y las SS hubieran optado por el bando de esta «ciencia aria», entonces tal vez el futuro ya habría quedado hipotecado en su favor. Pero Heisenberg, además de ser una de las glorias reconocidas de la ciencia alemana, un ario puro, fue lo suficientemente perspicaz como para reconocer la seriedad del peligro subyacente en los ataques de Stark (en periódicos como *Volkischer Beobachter* [en 1936], el periódico semioficial del partido, y *Das Schowarze Korps* [en 1937], de las SS), y reaccionó pronta e inteligentemente. Con la ayuda de algunos colegas, el creador de la mecánica cuántica matricial consiguió el apoyo de Himmler. Aquel primer y duro golpe a la Deutsche Physik pronto tendría continuación. En contra de lo que Goudsmit defendió en *Alsos*, la intensidad del discurso ideológico del Estado nazi declinó sustancialmente tras el inicio de la guerra, cuando menos en materias de física. Obligados por las necesidades prácticas, el gobierno, el Partido y las Fuerzas Armadas comenzaron a preocuparse más por la educación científica y su incidencia en cuestiones tales como la producción de armamentos que por la influencia del «pensamiento judío» en la física. Al igual que en el caso de la «matemática aria», el régimen necesitó de entrada radicales para su consolidación, pero luego fueron los especialistas y no los

ideólogos los requeridos. De hecho, entra dentro de lo posible que si en 1933 las condiciones hubiesen sido las mismas que en 1939 —un supuesto histórico absurdo, naturalmente— no se hubiera firmado el decreto que significó la expulsión de los funcionarios universitarios de origen judío (al menos, no los de alto rango, como eran los directores de institutos de investigación). En particular, bajo la presión de la industria alemana y de los jefes militares, los políticos nazis mostraron una clara inclinación a modificar, o a obviar, su dura línea ideológica como compensación por la obtención de la colaboración de la comunidad de los físicos (recordemos en este sentido que mientras que a la Primera Guerra Mundial se la ha denominado, como vimos, «la guerra de la química», a la Segunda se la ha calificado como «la de la física»). Semejante posibilidad no podía ser sino bienvenida por un colectivo (el de los físicos en la Alemania nazi) para el que, consciente o inconscientemente, uno de sus principales objetivos fue mantener la autonomía de su disciplina, algo que a partir de cierto momento permitió a muchos evitar una realidad política y un dilema moral que a duras penas podían ignorar.

Acabo de utilizar dos expresiones, «a partir de cierto momento» y «a muchos», que conviene explicar, puesto que ocultan precisiones importantes cuando se está hablando de la ciencia en la Alemania nacionalsocialista. Las preocupaciones de índole ético-moral de los científicos germanos ni tuvieron siempre la misma intensidad (caso de que existieran realmente), ni afectaron a todos de la misma manera. En concreto, no se puede decir que la gran mayoría de los científicos alemanes —físicos incluidos— recibiera al Tercer Reich con grandes hostilidades. Y ello por diversas razones, entre las que se pueden nombrar (como ya indiqué) el recuerdo y consecuencias de las duras condiciones que las naciones vencedoras de la Primera Guerra Mundial impusieron en Versalles a las Potencias Centrales, la difícil situación durante la República de Weimar, no muy bien recibida, como ya vimos, por los

mandarines académicos, entre los que predominaban los sentimientos nacionalistas, conservadores y anticomunistas, o la tradicional confianza germana en un Estado autoritario, como sin duda lo fue el de Hitler. Así, la respuesta a las purgas sufridas por colegas y amigos fue, en general, inconsistente y débil. En otras palabras: la ciencia alemana no luchó contra el Estado nazi. Incluso en los casos más honorables, o mejor, en los que mayor esfuerzo se desplegó por mantener una postura independiente y clara, como son los ejemplos, en física, química y matemáticas, de Max von Laue, David Hilbert, Max Planck y seguramente también Otto Hahn, lo que uno encuentra es oposición a aspectos específicos del nazismo, apoyo a otros, y un mantenerse al margen, consciente o inconscientemente, en muchos otros. Recordemos en este sentido la carta de Lise Meitner a Otto Hahn que cité con anterioridad.

Desde esta perspectiva, la importancia de la Deutsche Physik se ve disminuida considerablemente. En más de un sentido se la puede considerar como una especie de grotesca y dramática anécdota, que no afectó demasiado al desarrollo de las ciencias físico-químicas y matemáticas en Alemania, habida cuenta, por supuesto, de que no fue ella la responsable de la expulsión de científicos judíos. La historia contraria no por conveniente es menos falsa. Conveniente, en efecto, para aquellos que como Goudsmit pretenden utilizar a la ciencia en el debate democracia-fascismo. Y conveniente, sobre todo, para los propios científicos germanos que utilizaron la «física aria» en la misma línea que todos aquellos ciudadanos alemanes que, después de la guerra, argumentaron que el Tercer Reich fue un accidente histórico, en el que un pequeño grupo de nazis se apropiaron, de alguna manera, del control de la nación. Afortunadamente —continúa esta historia— la pesadilla terminó, aunque lo hiciese dolorosamente, y los responsables desaparecieron o fueron castigados. Fue a ese tipo de negación de su propio pasado y responsabilidades a la que se apuntaron muchos físicos germanos que fomentaron la apología de su apoliticismo, cuando no de su

oposición «interna» a los horrores nazis.

Las memorias que acerca de su marido escribió Elisabeth Heisenberg son un ejemplo más en este sentido.[85] Así, cuando se refiere a la participación de Werner en el proyecto atómico alemán, Elisabeth relata cómo su esposo le hizo partícipe de su opinión de que tal proyecto era inviable y, más aún, de que si llegase a ser posible él tomaría el camino de la resistencia pasiva: «Ninguna persona puede ser obligada a realizar inventos, o nuevos desarrollos científicos, si no quiere». Sin embargo, cuando se desempolvan los oscuros y a menudo desagradables documentos de los archivos, como ha hecho Mark Walker,[86] uno se encuentra con hechos muy distintos. Heisenberg, como Hahn y como todos aquellos que participaron en las investigaciones nucleares en Alemania, dieron de sí todo lo que pudieron, teniendo en cuenta, naturalmente, las previsiones (científicas), necesidades (bélicas) y posibilidades (socioeconómicas y de infraestructura).

Otro aspecto que se debe considerar a la hora de plantearse la cuestión de las responsabilidades de los científicos no nazis que defendían que su actividad científica era ajena a la política es el de ciertas facetas de su comportamiento público, como muestra el caso de los viajes de «propaganda cultural» que Heisenberg realizó a países invadidos por Alemania, a los que ya me referí.

La Deutsche Mathematik

Aunque menos conocido que la Deutsche Physik, también surgió un movimiento en favor de una Deutsche Mathematik. El personaje central de ese movimiento fue Ludwig Bieberbach (1886-1982), que en 1921 había sucedido a Constantin Carathéodory en su cátedra de la Universidad de Berlín. Inmediatamente después del ascenso de Hitler al poder, Bieberbach adoptó la ideología nazi, con sus posturas antisemitas, intentando dominar la Deutschen Mathematiker-Vereinigung (DMV; Sociedad de Matemáticos

Alemanes). No tuvo éxito, pero sin embargo a finales de 1934 consiguió el apoyo político suficiente (gracias a la ayuda de Stark) para fundar una nueva revista matemática, titulada precisamente *Deutsche Mathematik*, que pretendía rivalizar con las otras revistas, dominadas —según Bieberbach— por judíos o amigos suyos. La revista comenzó a publicarse con una tirada de 6.500 ejemplares; por el cuarto número, esa cifra se redujo a 2.000. En 1938, solamente se imprimían 700, de los que 167 permanecían sin vender tres años después. La revista sobrevivió de esta manera hasta 1944, cuando apareció la última parte del volumen de 1942. Es importante señalar que Bieberbach favoreció los intereses nazis. En palabras de Herbert Mehrtens:87 «Bieberbach, con su *Deutsche Mathematik*, sufrió el destino de muchos "revolucionarios" de la era nazi. Sirvió para llevar a la DMV a los brazos del Estado nacionalsocialista. Los matemáticos temían al radical Bieberbach y por consiguiente se vieron forzados a declarar su lealtad a agentes del régimen en el Ministerio de Cultura aparentemente menos radicales. De esta manera, Bieberbach jugó su pequeño papel en consolidar el régimen, pero la revolución que deseaba en matemáticas no tuvo lugar. El régimen nazi necesitaba a los radicales y revolucionarios para establecerse firmemente, pero los fines revolucionarios se dejaron de lado pronto cuando el régimen intentó consolidarse y expandir su poder. La preparación de la guerra requería de especialistas leales y capaces, no de ideólogos y políticos radicales».

El que la Deutsche Mathematik no resultase ser un movimiento demasiado importante no quiere decir que los matemáticos de origen judío no sufriesen marginaciones similares a las de sus colegas físicos. Algunos ejemplos destacados en este sentido son los siguientes.

El primero es el de Hermann Weyl (1885-1955), uno de los mejores matemáticos existentes entonces en todo el mundo. En el otoño de 1930, Weyl había abandonado la cátedra que ocupaba desde hacía diecisiete años en la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, para regresar a

Gotinga, como sucesor de Hilbert en la cátedra de éste y en la dirección del Instituto de Matemáticas. En enero de 1933, Weyl rechazó una oferta para incorporarse al nuevo y selecto Instituto de Estudio Avanzado de Princeton, pero después de la llegada de Hitler al poder terminó aceptándola dejando Alemania con su familia en octubre de 1933.

Antes de que Weyl abandonase el Instituto, el 25 de abril el ministro de Educación envió un telegrama al rectorado de Gotinga en el que se informaba que seis miembros de la universidad eran relevados de sus puestos, aunque manteniéndoseles el sueldo. Tres formaban parte del personal del Instituto de Matemáticas: Richard Courant (1888-1972), Felix Bernstein (1878-1956) y Emmy Noether. En realidad, la Ley del 7 de abril no se les aplicaba, ya que Courant —que sucedió a Weyl en la dirección del Instituto — había servido (y sido herido) en la Primera Guerra Mundial, el nombramiento de Bernstein databa de 1911 y Noether no tenía un estatus oficial, con lo que en teoría los tres quedaban exentos de la ley. El mismo 1933, Courant emigró a Inglaterra, ocupando un puesto de *lecturer* en Cambridge, aunque por poco tiempo, ya que en agosto de 1934 viajó a Estados Unidos, con una ayuda del Emergency Committee in Aid of Displaced Foreign Scholars, instalándose en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Nueva York, que llegaría a dirigir entre 1936 y 1958, año en que fue bautizado con su nombre. En cuanto a Bernstein, también se trasladó a Estados Unidos, donde ocupó puestos en varias universidades, antes de regresar a Europa en 1953. De Noether ya señalé que emigró a Estados Unidos en 1933.

A otro nombre ilustre de la matemática, Edmund Landau (1877-1938), que en 1909, ya con unos setenta artículos publicados, había pasado directamente de ser un *privatdozent* en Berlín a catedrático (*ordinarius*) en Gotinga, el decano de la Facultad de Matemáticas y Ciencia le aconsejó el 28 de abril que dejase momentáneamente sus clases. Terminó siendo expulsado de su cátedra, y falleció

en Berlín en 1938, cinco días después de haber cumplido sesenta y un años.

También entonces, el ministerio advirtió a los jóvenes y ya muy prometedores *privatdozenten* de matemáticas de Gotinga, Paul Bernays, Hans Lewy y Otto Neugebauer que «hasta que se tomase una decisión final sobre sus derechos, no deberían hacer uso de su derecho a enseñar (*venia legendi*)».[88] Salvo Neugebauer —al que se le acusaba (erróneamente) de ser comunista— todos eran de origen judío. Bernays se instaló en la Escuela Politécnica Federal de Zúrich; Lewy en Estados Unidos (Brown University y Berkeley), lo mismo que hizo Neugebauer, quien finalmente se convirtió en un distinguido historiador de la ciencia especializado en la matemática y astronomía antigua (Babilonia y Egipto).

Otro producto de Gotinga represaliado (había estudiado allí con Hilbert y Klein) fue Otto Blumenthal (1876-1944), entonces en Aquisgrán y especialista en funciones modulares. En 1939 se trasladó a Holanda, pero durante la ocupación alemana fue detenido y enviado al campo de concentración de Theresienstadt, donde murió.

También tuvo que abandonar Alemania, no obstante haber luchado en la Primera Guerra Mundial, el distinguido matemático aplicado y experto en el cálculo de probabilidades de Berlín Richard von Mises (1883-1953), que en noviembre de 1933 se trasladó a Turquía.

El austríaco Kurt Gödel (1906-1978), cuyas aportaciones a la lógica (especialmente su artículo de 1931, «Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines») afectaron a las bases más profundas de la matemática, también sufrió las consecuencias del régimen de Hitler. *Privatdozent* en la Universidad de Viena desde 1933, abandonó el imperio nazi en, parece ser, 1940, utilizando el tren transiberiano, en el que cruzó la Unión Soviética (tardó dos meses en llegar a San Francisco, vía Vladivostok y Japón). Se instaló en el Instituto de Estudio Avanzado de Princeton (ya había estado allí en 1935), donde permaneció el resto de su vida.

Un caso particularmente doloroso es el de Felix Hausdorff (1868-1942), cuyos trabajos fueron centrales en el desarrollo de la teoría de conjuntos y de la topología. Al igual que Courant y Landau, Hausdorff estaba exento en principio de las previsiones de la Ley del 7 de abril, pero al contrario que aquellos pudo continuar en su puesto hasta su jubilación, en marzo de 1935. Estaba orgulloso de su ascendencia hebrea y nunca intentó ocultarla. Durante un tiempo, Hausdorff, un hombre al parecer extremadamente modesto, pudo evitar las peores consecuencias a las que sus orígenes conducían en la Alemania nazi, pero finalmente él también fue obligado a llevar la «estrella amarilla» y a finales de 1941 amenazado, junto a su esposa, con ser deportado a Colonia. Pronto desapareció la amenaza, pero fue temporal: a mediados de enero de 1942, llegó una orden de que él, su esposa y la hermana de ésta serían internados. El 25 de enero, Hausdorff escribía la siguiente carta al abogado judío Hans Wollstein:89

> Querido amigo Wollstein:
>
> Cuando recibas estas líneas, los tres habremos resuelto el problema de otra manera, de la forma que tú constantemente has intentado disuadirnos. Aunque al principio hubiésemos podido superar las dificultades del desplazamiento, los sentimientos de seguridad que predijiste para nosotros no parecen en absoluto llegar, todo lo contrario...
>
> Lo que se ha hecho contra los judíos en los recientes meses suscita la bien fundada ansiedad de que no se nos permitirá conocer una situación soportable.

Y en este punto Hausdorff encargaba a Wollstein que se despidiese en su nombre de una serie de amigos comunes y que se encargase de resolver algunos asuntos legales relacionados con sus bienes. «Si es posible», continuaba, «deseo ser incinerado, e incluyo una declaración al efecto... Perdónanos que todavía te causemos molestias después de la muerte; estoy convencido que harás todo lo que *sea posible* hacer (y que acaso no será mucho). ¡Perdónanos también por desertar! Te deseamos a ti y a todos nuestros amigos que veáis tiempos mejores».

La misma tarde en que escribió esta carta, Felix Hausdorff, todavía hoy un nombre mítico en la historia de la matemática, su esposa y cuñada tomaron una dosis letal de barbitúricos. A la mañana siguiente encontraron muertos al matrimonio, mientras que su cuñada se mantuvo viva unos días en coma.

Las noticias de lo que estaba sucediendo en Alemania se difundieron rápidamente. Así, desde Budapest, donde pasaba unos días (se había instalado ya en el Instituto de Estudio Avanzado de Princeton), John von Neumann informaba a Oswald Veblen, compañero suyo en el Instituto, en una carta escrita aparentemente el 3 de abril de 1933:[90]

> Probablemente haya leído que Courant, Born y Bernstein han perdido sus cátedras, y que J. Franck renunció a la suya voluntariamente. A través de una carta de Courant de hace seis semanas (lo que ahora es un intervalo de tiempo muy grande en Alemania), supe que Weyl sufrió una crisis nerviosa en enero y que se marchó a un sanatorio de Berlín, pero que volverá a dar clases en el verano. No sé nada acerca de cambios o expulsiones en Berlín, pero parece que la «purificación» de las universidades únicamente ha alcanzado hasta el momento a Frankfurt, Gotinga, Marburgo, Jena, Halle, Kiel y Könisberg, a las que seguirán las otras veinte.

Dejando al margen lo que la matemática germana perdió mediante expulsiones como las que acabo de mencionar, ¿qué se puede decir del conjunto de la matemática durante la era nazi?

Expresado brevemente, lo que se tiene es que los esfuerzos terminaron por concentrarse mayoritariamente en aplicaciones de la matemática a la guerra; esto es, a la realización de proyectos técnicos que necesitaban de habilidades matemáticas y que tenían un interés inmediato para los militares, algo, por otra parte, que en mayor o menor grado también sucedió en otros países.[91] La matemática aplicada, en definitiva, se impuso sobre la más básica, o «pura», aunque no debemos entender semejante afirmación como que no se produjesen resultados de gran

interés matemático. Recordemos en este sentido, algunos: teoría de la información, solución de sistemas de ecuaciones diferenciales, control estadístico de calidad y análisis numérico. Si incluimos ahora a Estados Unidos, habría que mencionar también la emergencia de la ciencia computacional, así como el método de tratamiento estadístico de problemas matemáticos y físicos demasiado complejos, denominado «método de Monte Carlo», que desarrolló el matemático de origen polaco Stanislaw Ulam, que trabajó para el Proyecto Manhattan al igual que en la fabricación de la bomba de hidrógeno, donde resolvió problemas vitales.

Prandtl, la aerodinámica y Peenemünde

Hacia 1944, quedaban pocos matemáticos en activo que no estuviesen trabajando en cuestiones militares. En particular, la aerodinámica y aviación (también la balística) reclamaron bastantes de esas habilidades matemáticas, debido a los complejos cálculos que era necesario efectuar. De hecho, en este dominio ya existía una importante tradición en Alemania, donde —dejando al margen otros centros de carácter militar— en 1917 se había inaugurado, en Gotinga, bajo el amparo de la Asociación Káiser Guillermo y financiado por los militares, un Aerodynamische Versuchsanstalt (Centro de Investigación Aerodinámica), al que siguió, también en Gotinga, en 1925 un Instituto de Mecánica de Fluidos. La figura clave en ellos fue Ludwig Prandtl (1875-1953), el «padre de la aerodinámica teórica», con quien se formó otra figura central de la aerodinámica del siglo xx.[92]

El Instituto de Prandtl se convirtió en la «Meca» de todos aquellos que querían dedicarse a la ciencia y técnica aeronáutica, y consecuentemente recibió estudiantes de todas partes, alemanes y extranjeros. Aunque su relación con Prandtl fue anterior a la creación del Instituto, uno de los «hijos» intelectuales de éste fue el húngaro Theodore von Kármán (1881-1963), que en 1906 se trasladó desde su

Budapest natal a Gotinga.93 Bajo la dirección de Prandtl, von Kármán se doctoró en 1908, iniciando una carrera que le llevaría en 1913 a suceder a Hans Reissner en la cátedra de Aeronáutica Técnica y Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Aquisgrán. En 1926, von Kármán visitó por vez primera Estados Unidos, invitado por Robert Millikan, que entonces presidía el Instituto Tecnológico de California, en Pasadena, y por Harry Guggenheim, presidente del Fondo Daniel Guggenheim para la Promoción de la Aeronáutica. Aquella experiencia fue tan positiva para ambas partes que en 1927 von Kármán aceptó pasar donde, como veremos en el próximo capítulo, se convirtió en un personaje central de la aeronáutica con profundas conexiones políticas y militares.

En tal capacidad, von Kármán colaboró de manera importante con el esfuerzo bélico estadounidense durante la Segunda Guerra Mundial. Otro tanto, aunque no de forma tan destacada, hizo Prandtl en su país. No era su carácter, cierto es, demasiado afín con la ideología de Hitler, pero como tantos otros se sometió finamente a las exigencias del régimen nazi.94 Vemos en este ejemplo los complejos y cambiantes caminos que pueden seguir las consecuencias y aplicaciones sociopolíticas de la investigación científica: un instituto alemán que termina favoreciendo la ciencia y tecnología bélica de naciones enfrentadas en una guerra, a través de las respectivas aportaciones de Prandtl y von Kármán.

Retornando a la aeronáutica germana, tenemos que a mediados de la década de 1930 ésta experimentó un extraordinario impulso, con el comienzo de la construcción de una Estación Experimental de la Fuerza Aérea y de la Armada cerca de un pequeño pueblo, Peenemünde, situado en la península de Usedom, en Vorpommern; también se ampliaron las ya establecidas instalaciones de investigación aerodinámica de Berlín y Gotinga, además de fundar otras, como el Centro de Investigación Aeronáutica «Hermann Göring» en Braunschweig. Todo ello, por supuesto, necesitaba de habilidades técnicas y científicas,

matemáticas entre ellas.

El complejo de Peenemünde, en el que se construyeron los famosos cohetes A4 o V-2 que asolaron especialmente Gran Bretaña y su capital, Londres, fue particularmente importante. En su construcción y mantenimiento participaron tanto la Fuerza Aérea, que suministró 5 millones de marcos para el denominado Instituto Experimental de la Fuerza Aérea de Peenemünde-Oeste, como el Ejército de Tierra, que contribuyó con 6 millones para la construcción de otra parte del complejo: el Instituto Experimental del Ejército de Peenemünde Este. La construcción de las instalaciones comenzó en el verano de 1936 y el 3 de octubre de 1942 el primer cohete —o, como diríamos ahora, misil— balístico experimental fue lanzado con éxito desde Peenemünde-Este.95 En su momento de máximo esplendor, Peenemünde contó con un personal dedicado a tareas de investigación y desarrollo formado por unas 6.000 personas, de las cuales alrededor de cien eran ingenieros. Otros 6.000 eran trabajadores comunes, entre ellos muchos forzados, procedentes o no de campos de concentración.

El 8 de septiembre de 1944, los primeros misiles operativos cayeron sobre París y Londres. Aunque su efecto ha sido con frecuencia sobrestimado (la carga explosiva total de los V-2 lanzados durante la guerra fue menor que la de un bombardeo aéreo masivo de la RAF británica), su efecto psicológico fue grande, y lo que significó para la relación triangular «ciencia-tecnología-guerra» aún mayor, especialmente si consideramos el camino que marcarían para el futuro, en la era de los misiles balísticos intercontinentales armados con cabezas nucleares.

Como es bien sabido, un personaje central en tales logros fue el ingeniero (y miembro desde 1937 del Partido Nazi, además de las SS; alcanzó el grado de *Sturmbannführer* de las SS en junio de 1943) Wernher von Braun (1912-1977), que tenía veintisiete años cuando comenzó la guerra y que al término de ésta fue llevado a Estados Unidos donde terminó desempeñando un papel igualmente

central en la construcción por parte de la NASA de los cohetes que llevarían con el Proyecto Apollo hombres a la Luna.[96] Von Braun cumplió con entusiasmo su trabajo tanto en Alemania como en Estados Unidos, ofreciéndonos de esta forma un espléndido ejemplo de la ductilidad —acaso «maleabilidad» sería en este caso, y aunque equivalente, una expresión más adecuada— política de los científicos, o, si se prefiere, de un caso en el que el poder político prevalece sobre el científico.

La biología y el régimen nazi

No es posible hablar de la ciencia en la Alemania de Hitler sin referirse, aunque sea brevemente, a la biología. Ahora bien, para ello es necesario distinguir dos apartados. El primero tiene que ver con los biólogos y médicos alemanes que tuvieron que abandonar Alemania, sobre todo por sus orígenes familiares. Ya he indicado en este mismo capítulo que entre los que emigraron se encontraban científicos de la talla de, entre otros, Erwin Chargaff, Max Delbrück, Hans Krebs, Fritz Lipmann, Otto Loewi, Otto Meyerhof y David Nachmansohn.[97] Ningún país que obliga a emigrar a investigadores como éstos puede decir que su ciencia no perdió con su salida, que la ideología política no afectó a la ciencia. Así que desde este punto de vista es obligado concluir inmediatamente que la biología y bioquímica germana sufrieron, y mucho, durante el régimen de Hitler.

Si ahora dejamos al margen a esos científicos y nos limitamos a los que se quedaron en Alemania, hay que señalar que al menos una parte importante de la investigación biológica prosiguió sin mayores problemas durante el período nazi. Esta afirmación se aplica en particular a los centros de la Asociación Káiser Guillermo que se ocupaban de esa materia: institutos como el de Bioquímica (dirigido por Adolf Butenandt), el de Biología (encabezado por Fritz von Wettstein, Alfred Kühn y Max Hartmann) y el Departamento de Genética (liderado por un

emigrado ruso, Nikolai Timoféeff-Ressovsky) del Instituto para la Investigación del Cerebro. Da idea de la calidad de las investigaciones realizadas allí el que se otorgaran dos premios Nobel a científicos que trabajaron en estos centros durante el Tercer Reich. Adolf Butenandt (1903-1995) recibió el premio Nobel de Química en 1939, compartido con Adolf Ruzicka, por sus trabajos sobre hormonas sexuales; el mismo año, pero correspondiente a 1938 y también de Química, lo recibió Richard Kühn (1900-1967), director del Departamento de Química del Instituto de Investigaciones Médicas que la Asociación Káiser Guillermo mantenía en Heidelberg, por sus trabajos sobre las vitaminas y otras sustancias fisiológicas.

En este punto, por cierto, hay que recordar que ninguno de estos dos científicos pudo ir a Estocolmo a recoger su galardón, ya que después de que los suecos otorgasen el premio Nobel de la Paz de 1935 al pacifista germano Carl von Ossietzky (1889-1938), que entonces se encontraba confinado en un campo de concentración, Hitler prohibió no sólo que lo aceptase sino que también hiciese lo mismo cualquier alemán que lo recibiese en el futuro. En este sentido, emitió el siguiente decreto el 30 de enero de 1937:98

> Para evitar en el futuro tales hechos vergonzosos, decreto con esta fecha el establecimiento de un premio nacional alemán para el arte y la ciencia.
>
> Este premio nacional se dividirá anualmente entre tres alemanes que lo merezcan en la cantidad de 100.000 marcos cada uno.
>
> La aceptación del premio Nobel queda prohibida para todos los alemanes en el futuro.

Continuando con la biología en la época nazi, es evidente que estamos tratando de una rama de la ciencia que tenía evidentes implicaciones para algunas de las tesis ideológicas más queridas por los nazis, aquellas que hablaban de razas. Aun así, los científicos del Instituto de Biología de von Wettestein, Kühn y Hartmann (ninguno de

los tres se afilió al partido o a otras organizaciones nazis) pudieron continuar libremente sus investigaciones (algunas de las cuales trataban de genética) en la misma línea en que lo habían hecho antes de 1933. Claro que la casuística es muy diversa, y así podemos encontrar casos como el del citado Timoféeff-Ressovsky, quien, seguramente para aumentar sus posibilidades de conseguir financiación, hizo hincapié en la importancia de su investigación básica en genética para la «higiene racial».

En un artículo publicado en 1935 en *Der Erbarzt*, la principal revista dedicada a la higiene racial, Hans Stubbe, entonces un ayudante del Instituto de Investigación para Crianza de la Asociación Káiser Guillermo, escribía: «Cuando el criador se da cuenta de la naturaleza de las enfermedades genéticas, tiene muchas más posibilidades de efectuar una selección racial positiva que el doctor y el genético que se ocupan de los humanos, que, en la mayor parte de los casos, tienen que extinguirse sin ser capaces de crear una saludable y resistente combinación».[99] En la misma revista Timoféeff también pidió que se tomaran medidas en contra de la carga genética que se hallaba en las poblaciones humanas, que, argumentaba, estaba aumentando debido a que la selección natural no podía desarrollarse libremente como antes.[100]

Nos puede —y seguramente nos debe— repugnar el comportamiento de Timoféeff-Ressovsky, pero no por ello debemos olvidar que en aquellos años y tomando él parte se realizaron trabajos científicos de importancia. Como los que el propio Timoféeff-Ressovsky produjo en colaboración con el todavía físico Max Delbrück y Karl Günter Zimmer. A partir de 1934, Delbrück, que se había doctorado bajo la dirección de Walter Heitler con un tema de enlace químico utilizando la física cuántica, y que había ampliado estudios con John Lennard-Jones en Bristol, con Niels Bohr en Copenhague y con Wolfgang Pauli en Zúrich, decidió buscar una conexión entre la biología y la física. Por entonces, Delbrück se encontraba en Berlín, donde había organizado un pequeño grupo de discusión en la casa de su madre. Allí

conoció a Timoféeff-Ressovsky. Con él y Zimmer desarrolló en 1935 un modelo cuántico de mutación genética, en un artículo titulado «Sobre la naturaleza de la mutación genética y la estructura de los genes», que aunque resultó incorrecto, a la postre ejerció una notable influencia.[101] De hecho, se puede decir que aquel trabajo constituye una de las primeras aproximaciones a la biología molecular.

Evidentemente, existieron biólogos y sobre todo médicos que se adentraron durante los años nazis en los rincones más siniestros de la «medicina», o «higiene racial», pero si intentase considerar este caso tendría también que incluirlo en el amplio movimiento eugenésico que pretendía utilizar la ciencia biomédica para mejorar las «razas», un movimiento que no se limitó en modo alguno a Alemania, afectando asimismo a naciones como Estados Unidos, Gran Bretaña, Bélgica, Dinamarca, Australia, Italia o Noruega, entre otros. En septiembre de 1921, por ejemplo, se reunieron en Nueva York más de trescientas personas en el Segundo Congreso Internacional de Eugenesia.[102]

En cualquier caso, en este breve apunte he tratado únicamente de esbozar algunos aspectos de la situación en el dominio de la investigación de punta, y cuando se analiza ésta está justificado realizar precisiones como las realizadas por Kristie Macrakis:[103] «Debido a que la historiografía que se ha ocupado después de la guerra de la ciencia durante el Tercer Reich ha centrado su atención en el declive y destrucción de la ciencia, la mayor parte del público y de los estudiosos a menudo no han sido capaces de ver otros aspectos del desarrollo científico en la Alemania nacionalsocialista. Aunque en general la Alemania nazi no proporcionaba un entorno especialmente favorable a la práctica de la investigación científica, existían bolsas de innovación, y algunos medios institucionales apoyaron la ciencia normal». Una de esas «bolsas» es, argumenta Kristie Macrakis, la de los institutos biológicos y médicos de la Asociación Káiser Guillermo.[104]

Retomando ahora, tras el anterior inciso, la cuestión de Alemania y la energía atómica, tenemos que cuando se pretende entender por qué los científicos alemanes no produjeron armas nucleares hay que tomar en consideración varios elementos. En primer lugar, que a lo largo de 1940 y 1941 era fácil perder de vista en Alemania la relación entre la investigación en la fisión nuclear y los armamentos. La guerra parecía ganada y, por consiguiente, difícilmente habría tiempo para emplear explosivos atómicos. En octubre de 1941 una gran parte de Europa estaba bajo el dominio alemán, Gran Bretaña se encontraba aislada, Estados Unidos era neutral y el ejército germano se dirigía —aparentemente de manera imparable— hacia Stalingrado y Moscú. Desviar recursos importantes hacia la física e ingeniería nucleares parecía un derroche injustificado. Ello no implicó, sin embargo, que no se apoyase un proyecto que prometía grandes retornos económicos y militares en el *futuro* (en efecto, siempre se pensó que el camino para llegar a controlar la energía atómica era demasiado largo, y tampoco pasó por la cabeza de los autosuficientes físicos germanos la idea de que sus colegas del otro lado del Atlántico pudiesen hacerlo mejor que ellos).

Interesante y relevante en este sentido es lo que el arquitecto y ministro de Armamento de Hitler, Albert Speer, escribió en sus memorias. Merece la pena citarlo:106

> Almorzaba a menudo con el capitán general Friedrich Fromm … En uno de estos encuentros, a fines de abril de 1942, me dijo que lo único que nos daría alguna posibilidad de ganar la guerra era inventar un arma completamente nueva. Me explicó que estaba en contacto con un grupo de científicos que trabajaban en un arma capaz de destruir ciudades enteras, quizá incluso de poner fuera de combate a todas las Islas Británicas. Fromm me propuso hacerles una visita. Le parecía importante que mantuviéramos una entrevista con ellos.
>
> También el doctor Albert Vögeler, el director del principal consorcio alemán del acero y presidente de la Kaiser-Wilhelm-

Gesellschaft, me llamó la atención en aquel tiempo sobre la descuidada investigación atómica. Por él me enteré de los escasos medios que el Ministerio de Educación y Ciencia del Reich, lógicamente debilitado por la prioridad de la guerra, dedicaba a la investigación. El 6 de mayo de 1942 discutí el asunto con Hitler y le propuse que Göring, como figura representativa, encabezase el Consejo de Investigación del Reich. Un mes más tarde, el 9 de junio de 1942, Göring fue designado para el cargo.

Hacia la misma época, los tres representantes de las distintas armas (Milch, Fromm y Witzell) y yo nos reunimos en la Harnackhaus, el centro berlinés de la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, para hacernos una idea general del estado de la investigación nuclear alemana. Entre otros científicos cuyos nombres ya no recuerdo, se hallaban presentes los futuros premios Nobel Otto Hahn y Werner Heisenberg. Tras algunas disertaciones relativas a distintos campos de investigación, Heisenberg informó «sobre la desintegración atómica y el desarrollo de la máquina de uranio y el ciclotrón». Heisenberg se lamentó de que el Ministerio de Educación no se ocupara de fomentar la investigación nuclear, se quejó de la falta de dinero y de materiales y mencionó que la incorporación a filas de los científicos había hecho que la ciencia alemana retrocediera en un campo que años atrás dominaba: los extractos de las revistas científicas americanas permitían presumir que allí se disponía de medios técnicos y económicos más que suficientes para llevar adelante la investigación nuclear. Así pues, era previsible que América nos llevara una ventaja que, dadas las increíbles posibilidades que ofrecía la fisión nuclear, podría llegar a tener tremendas consecuencias.

Después de su conferencia pregunté a Heisenberg cómo podía emplearse la física nuclear para fabricar bombas atómicas. Su respuesta no fue en absoluto alentadora. Dijo que, aunque la solución científica se había encontrado ya, por lo que en teoría nada obstaculizaba la fabricación de la bomba, seguramente tendrían que transcurrir por lo menos dos años para prepararlo todo, y eso siempre que se le prestara toda la ayuda que solicitaba a partir de aquel mismo momento. Heisenberg justificó un plazo tan largo alegando, entre otras razones, que en toda Europa se disponía de un único ciclotrón que estaba en París y que funcionaba aún imperfectamente. Le propuse recurrir a mi autoridad como ministro de Armamento para construir ciclotrones como los que tenían en Estados Unidos o mayores. Sin embargo, Heisenberg objetó que, con nuestra falta

de experiencia, por el momento sólo podríamos preparar un modelo pequeño.

De todos modos, el capitán general Fromm prometió licenciar a unos cien colaboradores científicos, y yo invité a los investigadores a que me indicaran qué medidas había que adoptar para fomentar la investigación nuclear, así como qué materiales y cuánto dinero necesitaban. Pocas semanas después nos pidieron varios cientos de miles de marcos, además de acero, níquel y otros metales restringidos en pequeñas cantidades, así como la construcción de un búnker y algunos barracones, y solicitaron que se diera la máxima prioridad al primer ciclotrón alemán, ya comenzado. Me extrañó la modestia de las peticiones en un asunto tan decisivo, por lo que elevé el dinero a dos millones de marcos y autoricé la entrega del material. Al parecer, de momento no habría servido de nada emplear más cantidades, y en cualquier caso me dio la impresión de que la bomba atómica no iba a tener trascendencia en la guerra.

«Me dio la impresión», manifestaba, «que la bomba atómica no iba a tener transcendencia en la guerra.»

En cuanto a Hitler, Speer recordaba que:[107] «Hitler me habló alguna vez de la posibilidad de fabricar una bomba atómica, pero era evidente que la idea superaba su capacidad de comprensión, igual que se le escapaba el carácter revolucionario de la física nuclear. En las transcripciones que se han conservado de mis conversaciones con Hitler, constituidas por 2.200 puntos, la fisión nuclear sólo aparece una vez, y se trata además muy brevemente. Aunque alguna vez consideró las perspectivas que ofrecía, mi informe sobre la entrevista que había mantenido con los físicos lo ratificó en su decisión de no dedicar un mayor interés al asunto».

Otro punto importante es el del auge de la ciencia estadounidense. Aunque los emigrantes de raza judía ayudaron a construir la bomba, ésta no se habría realizado de no haber sido por el hecho, ya mencionado, de que la ciencia estadounidense en general, y la física nuclear en particular, había experimentado, ya antes de la llegada de los exiliados forzosos, un desarrollo espectacular. Si es cierto que en el Proyecto Manhattan colaboraron físicos

procedentes del otro lado del Atlántico de la talla de Bethe, Teller, Wigner, Peierls, Szilard, Rabinowitch, Weisskopf o Franck, además del italiano Fermi y, en pequeña medida, el danés Bohr, no lo es menos que entre los nativos que trabajaron en Los Álamos se cuentan Oppenheimer, Feynman, Lawrence, Compton, McMillan, Seaborg, Urey, Alvarez o Wheeler.[108] Y si pasamos de calidades a cantidades, la comparación es mucho más significativa. Pensemos, por ejemplo, que 29 investigadores trabajaban con Fermi en Chicago para la construcción de un reactor nuclear; tantos, aproximadamente, como el número total de científicos alemanes que se ocupaban de la energía nuclear.

Especialmente importante para el desarrollo de las investigaciones nucleares norteamericanas fue la gran ventaja que Estados Unidos llevaba a todas las demás naciones en el ámbito de los aceleradores de partículas, de los ciclotrones de los que ya me ocupé en el capítulo 6. Ernest Lawrence perfeccionó su primer gran acelerador en Berkeley al mismo tiempo que el movimiento nacionalsocialista tomó el poder en Alemania. Cuando, en 1938, Walter Bothe pugnaba por construir el primer acelerador alemán, repasó la situación mundial: por entonces en Estados Unidos ya existían nueve aceleradores, estando en construcción veintisiete; en Inglaterra había dos, los mismos que en Japón, y uno en Dinamarca (se estaban preparando máquinas similares en Suecia, Suiza, Francia y Rusia).

Debido a la disponibilidad de ciclotrones y de científicos, ingenieros y técnicos capaces de construir, modificar y operar aceleradores de partículas, los estadounidenses contaron con una valiosísima ventaja tanto a la hora de producir plutonio (el explosivo de la bomba de Nagasaki) como a la de obtener la tecnología necesaria para resolver el difícil problema de la separación del isótopo 235 del uranio (con el que se construyó la bomba de Hiroshima) del más abundante pero casi inerte 238. Ahora bien, si alguien se pregunta por qué Alemania estaba tan retrasada con respecto a Estados Unidos en aceleradores, encontrará

la respuesta no en el nacionalsocialismo, sino en el desarrollo, explicable en términos socioeconómicos, de la *Gran Ciencia* en la nación norteamericana.

En la misma dirección, hay que recordar el poderío industrial, tecnológico y de recursos materiales estadounidense. Cuando Alemania pensó que realmente necesitaba una gran bomba para ganar la guerra, su capacidad industrial y de obtención de recursos estaba ya muy menguada o, mejor, tenía demasiados frentes que atender. A pesar del apoyo de importantes sectores del ejército, para los físicos nucleares alemanes era extremadamente complicado conseguir lo que necesitaban, y ello independientemente de que sus peticiones hubiesen sido aprobadas. Por el contrario, la gran maquinaria productiva estadounidense encontró en la contienda un aglutinante hacia el que dirigir sus imponentes posibilidades.

Otro hecho que no se dio apenas en Estados Unidos y sí en Alemania fue el de conflictos entre grupos de científicos nucleares. El Proyecto Manhattan no dejaba demasiada opción para semejantes posibilidades, en tanto que empresa manejada según las técnicas habituales en la industria y en las Fuerzas Armadas, donde las responsabilidades, y autoridades, estaban netamente definidas: el general Leslie Groves era el encargado de hacer que el proyecto tuviese a su disposición todo lo que necesitase, mientras que Oppenheimer dirigía los aspectos científicos. Por el contrario, en Alemania, donde los mandarines académicos estaban acostumbrados a reinar sin restricciones en el pequeño y relativamente cerrado mundo de sus institutos, y donde el Estado nunca impuso una rígida y unitaria disciplina, surgieron algunos conflictos (entre personas e instituciones) por el control del proyecto nuclear.

Acabo de referirme a la autonomía de que gozaban los mandarines de la universidad alemana; es interesante desarrollar un poco este punto, ya que en él se encuentra otra de las claves que explica el diferente desarrollo de la ciencia —de la física, en particular— germana y

estadounidense: el (relativo) ocaso de la primera y el (indudable) auge de la segunda.

El éxito de los dos grandes proyectos científicos desarrollados en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, el del radar y el de la construcción de la bomba atómica, de los que me ocupo en el próximo capítulo, debió mucho a la tradición existente en aquel país de trabajo en equipo, en particular a la práctica que tenían físicos experimentales teóricos de colaborar entre sí. Como confesaba Bethe a Sommerfeld el 1 de agosto de 1936, esto es, no mucho después de haberse instalado en Norteamérica:109 «Lo que es característico de América es el trabajo en equipo. Colaboración dentro de los grandes institutos, donde cada uno se ocupa de todo lo que existe en física, y donde el experimental está con el teórico, el físico nuclear discute sus problemas con el espectroscopista ... Más trabajo de equipo: las frecuentes conferencias de la American Physical Society ... Uno discute de lo que está interesado, que es, por supuesto, física nuclear. El resultado es que el 90 por 100 de la investigación en este campo se hace en América». En Alemania, por el contrario, la práctica institucional era muy diferente: los físicos teóricos y experimentales trabajaban en institutos diferentes, entre los cuales habitualmente existía poca comunicación. En Múnich, por ejemplo, la escuela de investigación teórica de física del estado sólido de Sommerfeld y el instituto de investigación experimental en magnetismo y física de metales de Gerlach seguían sus propios caminos sin interaccionar, no importa que la física del estado sólido fuese el campo de investigación de ambos centros. Análogamente, no existía colaboración entre los Institutos de Heisenberg y Debye, en Leipzig, independientemente de que Debye fuese un físico versado tanto en la teoría como en la experiencia. Semejante independencia era acorde con la estructura de la universidad germana. En el caso de la física teórica, hay que tener en cuenta además que sin tal posibilidad de autonomía difícilmente habría podido llegar a emanciparse en el siglo XIX de la dominante física

experimental. Al ir avanzando el siglo xx, esa autonomía iba claramente en contra del desarrollo de la disciplina, pero los directores de institutos, que se habían formado en aquella tradición, no estaban dispuestos —ni siquiera los más jóvenes, como Heisenberg— a renunciar a sus privilegios. El caso de la física nuclear —que en Estados Unidos florecía, como comentaba Bethe a Sommerfeld—, y más concretamente el programa nuclear durante la guerra, no constituyó una excepción. En la práctica, el programa se desarrollaba en diferentes institutos, sin que fuese posible una estrategia común; Heisenberg, en principio el líder científico, nunca pudo controlar totalmente el avance de los trabajos. El único ciclotrón alemán, construido en 1943 en el laboratorio de Walter Bothe en Heidelberg, funcionó sin que interviniese ningún teórico, en claro contraste con los americanos, en donde experimentales, teóricos e ingenieros se mezclaban en torno a los ciclotrones. Ahora bien, no obstante las limitaciones de todo tipo en que se movieron las investigaciones de los científicos alemanes, hay que reconocer que cuando se estudian los resultados a que llegaron, se encuentra que en líneas generales iban planteándose y resolviendo —con mayor dificultad y lentitud— más o menos el mismo tipo de problemas que sus colegas de Los Álamos: geometría del reactor nuclear, moderador, masa crítica, maneras de separar isótopos.

Ciencia, fascismo y democracia (II)

Volviendo ahora, para concluir, al problema suscitado por Goudsmit, el de si es cierto o no que ciencia y fascismo son contradictorios, y que únicamente en un medio ambiente democrático puede florecer el conocimiento científico, tenemos que no parece que tales asociaciones sean correctas, al menos no siempre, o que exista una relación directa causa-efecto. El caso de la investigación nuclear alemana así lo indica. Las manifiestas diferencias entre el desarrollo y el resultado final de los esfuerzos nucleares alemán y estadounidense se pueden explicar en

términos básicamente ajenos a la ideología nacionalsocialista. En cuanto a asignar una cierta responsabilidad política a los dirigentes nazis a partir de que los encargados —por ellos— de dirigir la ciencia germana fueron notablemente inferiores a los norteamericanos, es patente que tal acusación ignora toda la historia alemana previa a 1933. Hitler no inventó la estructura académica germana, aunque sí la perjudicase. Y en cualquier caso, ese mismo sistema científico-tecnológico fue lo suficientemente bueno como para producir y enviar cohetes V-2 a Inglaterra, sin olvidar lo que he mencionado a propósito de la biología.

Más bien lo que revela una historia como la de la física nuclear es, de nuevo, la ductilidad de los criterios éticos de los científicos. ¿Podían, por ejemplo, ignorar los investigadores alemanes hechos como el que las primeras cantidades de óxido de uranio se extrajeron de lo que no hacía mucho era Checoslovaquia; que de Bélgica se «importaron» toneladas de compuestos de uranio; que tras invadir Noruega, el Reich asignó a la industria IG Farben (la mayor corporación privada europea entre 1925 y 1945) la planta más grande del mundo para la producción de agua pesada, uno de los posibles moderadores para conseguir una reacción en cadena sostenida, que los científicos nucleares germanos solicitaban con insistencia;[110] que Frédéric Joliot-Curie fue obligado a admitir en su laboratorio de investigación nuclear (que incluía un ciclotrón) de París a varios científicos alemanes;[111] que el traslado en el otoño de 1943 de los Institutos Káiser Guillermo de Hahn y de Heisenberg, de un Berlín cada vez más devastado por la aviación aliada hacia pequeñas poblaciones en el sudoeste alemán, se realizó empleando obreros forzados (esclavos sería una expresión más apropiada) polacos; que alrededor de dos mil mujeres internadas en el campo de concentración de Sachsenhausen fueron utilizadas por la compañía Auer para producir óxido de uranio en Oranienburg, y que aproximadamente la mitad de los 330.000 trabajadores que empleaba IG Farben lo

eran forzosos, procediendo de lugares como campos de concentración?

Algunos podrían decir que esa ductilidad ética se ve favorecida por la presión introducida por un Estado totalitario. Es posible, pero son demasiados los ejemplos —anteriores y posteriores al Tercer Reich— de científicos de estados democráticos realizando investigaciones cuyos resultados no favorecen ciertamente el mito de la ciencia como una actividad éticamente independiente de la política, como para aceptar sin más esta fácil y agradable escapatoria.

La ciencia alemana después de la guerra

La destrucción que asoló Alemania durante la invasión aliada no perdonó, como es natural, a las instalaciones científicas. Así, por ejemplo, el Instituto Kaiser-Wilhelm de Química dirigido por Otto Hahn fue convertido en ruinas durante el ataque aéreo a Berlín en la noche del 15 al 16 de febrero de 1944. Otros edificios de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft (así como universidades) siguieron el mismo destino. En medio de la mayor desolación, la administración de la Asociación fue trasladada a Gotinga durante los últimos meses de la guerra. Sin embargo, al caer Berlín la Administración Militar Soviética nombró a un comunista, el físico-químico Robert Havemann, jefe provisional de la Asociación, con lo que de hecho se llegó a una situación de desintegración en las diferentes zonas de ocupación.[112] No obstante, y al igual que en otros aspectos de la división alemana, las restantes potencias ocupantes (Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia) permitieron que la ciencia alemana occidental se unificase: el 26 de febrero de 1948 tenía lugar la sesión fundacional de la heredera (en todos los sentidos, incluso en el de las propiedades) de la Asociación Káiser Guillermo, a la que se bautizó con el nombre de Sociedad Max Planck para el Fomento de la Ciencias. Otto Hahn, el descubridor de la fisión nuclear, fue nombrado su presidente, cargo que ocupó hasta 1960.[113]

Esta institución centralizaría a partir de entonces una buena parte de la investigación científica de la República Federal Alemana, que se constituyó oficialmente el 23 de mayo de 1949 (poco después, el 7 de octubre de 1949, se decidía la creación de la República Democrática Alemana).

Por lo que se refiere a las universidades, éstas se apresuraron a mantener su autonomía, al estilo de la que había sancionado la reforma de 1808, lo que les permitió reanudar sus actividades incluso cuando no existían órganos estatales que controlasen el sistema educativo. En este sentido, la tradición elitista, mandarinesca, que había caracterizado el sistema universitario germano no sufrió un cambio sustancial, al menos no de entrada.

Es interesante señalar que a pesar de la «desnazificación» que siguió al final de la guerra, y que encontró su manifestación más llamativa en los célebres juicios de Núremberg, la mayor parte de los profesores y científicos en activo durante los últimos días del régimen de Hitler habían recuperado sus puestos e influencias hacia 1949, cuando se creó la República Federal. En este sentido, no existió una ruptura radical entre antes y después de 1945.

En cuanto al control ejercido por los Aliados, hay varios puntos que comentar. Por un lado se tiene que la Ley Número 25 del Consejo de Control Aliado para Alemania, aprobada el 29 de abril de 1946, distinguía entre investigación fundamental y aplicada. La investigación fundamental que fuera de naturaleza completa o parcialmente militar fue prohibida en la medida en que requiriese para su desarrollo instalaciones que, por su tamaño o tipo de construcción, pudiesen utilizarse para alguna investigación de tipo militar. En el ámbito de la investigación aplicada se prohibieron, entre otras, la física nuclear aplicada, la aerodinámica aplicada, ingeniería aeronáutica estructural y plantas de aviación, así como todo aquello relacionado con la propulsión de cohetes, que tan nefasto recuerdo traía a, especialmente, los británicos.[114]

Sin embargo, después de la primavera de 1946, el

miedo a los soviéticos dejó en un segundo plano el control de la ciencia y la tecnología germana, abriendo el camino no sólo a este aspecto del desarrollo posbélico de la República Federal, sino también al de su incorporación al bloque político, militar y económico occidental. Que así fue se puede ver considerando el caso de la investigación nuclear.

Dentro del complejo entramado de las negociaciones entre el gobierno de la República Federal y las potencias ocupantes occidentales, negociaciones que culminaron en 1955 con la entrada de la República en la OTAN y la declaración por parte de los Aliados de que el régimen de ocupación había terminado, Konrad Adenauer, el primer canciller federal, consiguió en 1952 el derecho a poseer un reactor nuclear de 1.500 kw de potencia, algo que como acabamos de ver la legislación de 1946 prohibía (tal reactor se construiría en Karlsruhe). De alguna manera, con este acontecimiento se cerraba un círculo: durante la guerra los físicos, químicos e ingenieros nucleares alemanes habían avanzado en el camino del control de la energía nuclear, pero por diversas razones (la derrota una de ellas, por supuesto) no habían conseguido ultimar su proyecto; ahora, aproximadamente tres lustros después, podían reanudar su camino. Sin embargo, la experiencia de toda una guerra (perdida) les hizo ser precavidos. Los físicos nucleares más importantes llegaron a la conclusión de que Alemania no debía construir bombas atómicas, y enviaron una carta al ministro de Defensa, Franz Josef Strauss, pidiéndole que declarase públicamente que la República Federal no construiría ni almacenaría armas atómicas; en caso contrario publicarían la carta. Otto Hahn ha narrado que la reacción de Strauss fue de indignación, argumentando que con tal acción no hacían sino favorecer a la Unión Soviética. Tras considerar el asunto con cuidado, 18 de los científicos más eminentes del país decidieron publicar —el 12 de abril de 1957— lo que se denominó el «Manifiesto de Gotinga» (en honor al lugar en el que se encontraba la sede central de la Sociedad Max Planck). En él, después de

recordar el poderío de las armas nucleares, se declaraba:[115]

> Estamos en el lado de la libertad tal y como se mantiene en la actualidad por el mundo occidental en contra del comunismo. No negamos que el miedo a la bomba de hidrógeno que existe hoy día en ambos lados contribuye de manera destacada a que se mantenga la paz en todo el mundo y a que prevalezca la libertad en partes de ese mismo mundo. Pero consideramos este método de asegurar la paz y la libertad como no fiable a la larga, y creemos que la amenaza de que falle es poco menos que mortal.
>
> No nos sentimos competentes para efectuar propuestas concretas relativas a la política de las Grandes Potencias. Creemos que un país pequeño como la República Federal Alemana puede hacer más por su propia defensa y para el mantenimiento de la paz global renunciando explícita y voluntariamente a la posesión de cualquier tipo de arma atómica. En cualquier caso, ninguno de los firmantes estaría dispuesto a participar de la forma que fuese en la manufactura, comprobación o utilización de armas atómicas.

La reluctancia de los científicos nucleares germanos a verse involucrados en proyectos nucleares con fines bélicos es en primer lugar un ejemplo más, aunque peculiar, de la difícil relación que mantuvieron, a ambos lados del Atlántico, después de 1945 muchos científicos de la vieja escuela (aquellos que crearon el monstruo atómico) con la energía nuclear aplicada a la guerra.[116] En segundo lugar, es también una muestra del distanciamiento que, por obligación y, en parte, por la convicción que es hija del desengaño y el fracaso, la República Federal Alemana mantuvo inicialmente con respecto a un armamento y ejército propios. Mientras que Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia dedicaron una gran parte de sus presupuestos para I+D a la faceta militar de la aplicación de la ciencia, Alemania y Japón, a los que se había prohibido semejante posibilidad, permanecieron libres de tal servidumbre, pudiéndose dedicar a impulsar la ciencia académica e industrial. Entra dentro de lo posible que en este hecho se encuentre parte de la explicación de los «milagros económicos» en el desarrollo de estas dos naciones

derrotadas en la guerra.

Otro aspecto de las consecuencias que la Segunda Guerra Mundial reportó a la República Federal Alemana en el ámbito de la ciencia y la tecnología es el de las reparaciones de guerra.117 El caso más interesante es el de los beneficios que pudo extraer en ese apartado Estados Unidos, ya que era el más poderoso y sediento de tecnología de las tres potencias occidentales ocupantes, aunque sólo fuese porque después de la derrota de Alemania, Norteamérica todavía estaba inmersa, mucho más que sus aliados, en la guerra con Japón, y además porque quedó en mejor situación (económica, política y social) que Gran Bretaña y Francia. En cuanto a la Unión Soviética, aunque sabemos poco de lo que ocurrió en la República Democrática, es obvio que esta nación siempre gozó de mucha menos independencia que la República Federal, por lo que es de suponer que los soviéticos tomaron todo lo que quisieron de su satélite germano.

El programa estadounidense de reparaciones de guerra comenzó, con el permiso del presidente Truman, a finales de 1944 con el propósito de utilizar el conocimiento científico-tecnológico alemán para reducir la duración de la guerra con Japón. Según penetraban en territorio alemán las fuerzas aliadas, equipos de expertos americanos de los departamentos de Guerra, Estado y Comercio visitaban todo tipo de instituciones germanas, entrevistando a personal, examinado procesos y productos, tomando fotografías y muestras y pidiendo documentos de valor militar y comercial (el proyecto «Alsos», con el que ya nos hemos encontrado, constituía una pequeña parte de este programa). Pero la idea inicial pronto se vio sustituida por un programa más ambicioso y mucho más indirectamente relacionado con el esfuerzo bélico aliado. Así, la curiosidad de los técnicos estadounidenses se centró en prácticamente todas las áreas de la ciencia y la tecnología alemana de interés socioeconómico: túneles aerodinámicos, caucho y combustibles sintéticos, textiles, películas de color, tintes, equipos pesados, microscopios electrónicos, equipos

ópticos, cerámica. El secretario de Estado, George C. Marshall, cuyo plan de ayuda económica (puesto en marcha en 1948) tanto hizo por otra parte en favor de la recuperación germana, argumentó que semejante acumulación de información sería puesta a disposición del resto del mundo, pero en la práctica la mayor parte fue a parar al gobierno, industrias y firmas estadounidenses, sin que las compañías alemanas recibiesen compensaciones. La entrada de las industrias norteamericanas en este tipo de expolio organizado militarmente se produjo debido a que las autoridades militares estadounidenses encargadas de llevar a cabo la misión no tenían fondos suficientes, lo que les obligó a pedir ayuda al mundo de los negocios, con lo que de hecho procedieron a una privatización de este beneficio que se estaba extrayendo de la industria alemana.

Theodore von Kármán, que ya dirigía (desde 1930) el Laboratorio y Escuela Daniel Guggenhein de Aeronáutica del California Institute of Technology, que encabezó una misión especial para averiguar la situación en que se encontraba la aeronáutica en Alemania, nos ha dejado una muestra de semejantes beneficios en uno de sus libros:[118]

> Cuando fui a Alemania con un grupo de científicos e ingenieros en 1945, encontramos en el abandonado laboratorio de Volkenrode, cerca de Braunschweig, modelos para ensayos en el túnel [aerodinámico] de un avión con alas en flecha, así como los correspondientes datos del túnel para números de Mach grandes. El eminente director del departamento técnico de la compañía Boeing Aircraft, George Schairer, formaba parte de mi grupo. Conocía las ideas de Robert Jones sobre la flecha, pero los datos de Volkenrode eran los primeros resultados experimentales que había visto. Se cuenta que Schairer telegrafió inmediatamente a sus oficinas: «Suspended proyecto bombardero»; y esto condujo al nacimiento del actual avión B-47, primer bombardero con alas en flecha de Estados Unidos.

Los intensos esfuerzos por extraer toda la información posible del mundo industrial germano entraron finalmente en conflicto con el deseo por parte del gobierno norteamericano de que la reconstrucción de Alemania

llegase a un punto en el que la exportación de bienes fuese posible, lo que mejoraría la situación financiera del sector alemán dependiente de Estados Unidos, que se estaba convirtiendo en una carga demasiado onerosa para el contribuyente americano. Así, hacia el verano de 1947 el general Lucias Clay logró que se pusiese fin a la mayoría de los programas de reparación.

En la reunión de ministros de Asuntos Exteriores celebrada en Moscú en 1947, el titular soviético, V. M. Molotov, acusó a Estados Unidos y a Gran Bretaña de haberse apropiado, en forma de patentes y otro tipo de conocimientos de Alemania, del equivalente a 10.000 millones de dólares. Según John Gimbel, esta cifra, que las autoridades norteamericanas tacharon de «fantástica», probablemente no esté lejos de la realidad, lo que da idea del beneficio obtenido por Estados Unidos, aunque hay que indicar que Alemania también se benefició a la postre, ya que el conocimiento de la capacidad alemana que los norteamericanos consiguieron de esta manera desempeñó un papel importante a la hora de que se decidiese incluir a Alemania en el Plan Marshall.

Es cierto que la ciencia alemana posterior a 1945 ya no ejerció el dominio de otros tiempos, que aunque retuvo una cierta capacidad científico-tecnológica, ya no volvió reinar suprema en ninguno de los campos que había controlado durante muchos años, la física, la química o la matemática. El exilio forzado de científicos, la desolación que acompañó a la derrota, la fragmentación geográfica y política o las reparaciones que tuvo que afrontar son algunos de los factores que, indudablemente, contribuyeron a semejante decadencia. Pero sería erróneo creer que en razones de ese tipo se encuentra la única, la principal acaso, explicación. Toda pérdida de hegemonía va acompañada de la aparición en escena de una nueva potencia, y en este sentido podemos decir, con el beneficio que da el análisis histórico, que el ascenso a la cumbre de la ciencia y tecnología mundiales por parte de Estados Unidos no constituyó una sorpresa. En otras circunstancias, con otras políticas, de no

haber mediado un líder como Hitler, Alemania podía haber competido, en la industria al igual que en la ciencia, digna y duramente con la nación norteamericana, pero nunca en la posición majestuosa y distante en que lo había hecho a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX y primer cuarto del XX.

España, la guerra civil y la ciencia

La guerra civil española no pidió a los científicos demasiado. Fue en este aspecto, en general, salvo si acaso la aviación, una contienda, podríamos decir, «primitiva», que no exigió apenas a la tecnología, y a través de ella a la ciencia. Pero tuvo consecuencias para ésta. Una de ellas debe ser recordada en un capítulo en el que he hablado de exilios y marginaciones: el exilio de científicos españoles debido a razones políticas.

Hispanoamérica (México en especial) fue el destino de la gran mayoría de los exiliados.[119] No parecen, por otra parte, existir dudas de que las ciencias biomédicas (incluyendo en este término desde la simple práctica médica hasta la fisiología, farmacología y bioquímica, pasando por la psiquiatría) fueron las más afectadas. Se ha llegado a señalar que quinientos médicos españoles se exiliaron en México al finalizar la guerra, pero, independientemente de la magnitud de las cifras, nombres como Augusto Pi i Sunyer, José Puche Álvarez, Isaac Costero, Gustavo Pittaluga, Ángel Garma, Rafael Lorente de Nó o Severo Ochoa muestran la dureza del golpe que recibieron tales disciplinas en España.[120]

Las ciencias naturales sufrieron la pérdida del decano de los naturalistas hispanos, el gran entomólogo Ignacio Bolívar, presidente entonces de la Junta para Ampliación de Estudios (JAE), que según reza la —tal vez apócrifa, pero hermosa en cualquier caso— leyenda, abandonó España siendo ya un anciano, «para morir con dignidad». Exiliado en México también estuvo su hijo Cándido Bolívar, que era entonces catedrático de Zoografía de Articulados en la

Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid. Otro anciano exiliado ilustre fue Odón de Buen, que llegó a México con ochenta años, y a quien, como en el caso de Bolívar, acompañó su hijo Rafael de Buen Lozano, que desarrollaría su carrera en Latinoamérica desempeñando importantes puestos relacionados con la sanidad pública. Otro «hijo ilustre» exiliado fue el biólogo Enrique Rioja Lo-Blanco, que continuó en México la obra de su padre, José Rioja, que había dirigido la Estación de Biología Marina de Santander.

Cuando pasamos a la física, nos encontramos con que el exilio en sí se debe valorar de manera cuidadosa al tratar el tema de la, indudable, decadencia que se produjo tras la contienda. Es cierto que entre los físicos exiliados aparecen nombres tan ilustres como el de Blas Cabrera, pero cuando el director del Instituto Nacional de Física y Química abandonó España ya era un hombre de salud precaria y había dado de sí todo lo que podía en su ciencia. En cuanto al astrónomo Pedro Carrasco, catedrático de Física matemática en la Universidad de Madrid, nunca fue un científico distinguido a nivel internacional, y acerca de Manuel Martínez-Risco, se puede decir de él que probablemente dio más de sí como científico desde su exilio parisiense que desde su cátedra madrileña. No es muy diferente el caso de Arturo Duperier, quien en Inglaterra efectuó importantes —mucho más que las que había llevado a cabo en Madrid— investigaciones en la física de los rayos cósmicos, investigaciones que no pudo retomar, dadas las dificultades que se encontró cuando regresó a Madrid en 1953. En consecuencia, fue más importante lo que las ausencias de estos científicos significó como ruptura, como pérdida de una tradición y relaciones internacionales, que lo que dejaron de aportar ellos mismos al contenido de la física.

También se vio afectada la química, fundamentalmente porque Enrique Moles, que durante la guerra fue director general de Pólvoras y Explosivos de la República, gozaba todavía de más vigor e ideas que Cabrera, pero también

debido a que entre los químicos exiliados figuró un número mayor de competentes investigadores y docentes, como Augusto Pérez Vitoria o Antonio García Banús.

En cuanto a la matemática, la consecuencia a la postre más importante fue la del exilio de uno de los más jóvenes miembros del Laboratorio Seminario Matemático de la JAE, Luis Santaló, que en la guerra había sido profesor de Matemáticas en el lado republicano para la formación de nuevos mandos en Aviación y que, instalado en Argentina, donde llegó a presidir su Academia de Ciencias, se convirtió en una autoridad mundial en campos como la geometría diferencial, aunque no podemos olvidar nombres como los de Pedro Pi Calleja o Manuel Balanzat.

Y hubo también «exilios interiores». Como el del espectroscopista y descubridor de los multipletes Miguel Catalán, que no salió de España (de hecho, durante la guerra permaneció en territorio «nacional»), pero que fue represaliado (por su conexión con la JAE y por ser yerno de Ramón Menéndez Pidal), siendo apartado de su cátedra de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid hasta febrero de 1946 (también se le impidió volver a su laboratorio). O los discípulos de Cajal, Francisco Tello Muñoz, que ocupaba antes de la guerra la cátedra del maestro, pero que fue separado de ella hasta octubre de 1949 (se jubiló en abril de 1950), y Fernando de Castro, que aunque fue rehabilitado rápidamente (en octubre de 1939), fue *de facto* privado de la mayor parte de los medios para continuar investigando al nivel que la escuela de Cajal exigía.

Otros, pocos, cierto es, volvieron con el nuevo régimen. El ingeniero, matemático y físico Esteban Terradas, exiliado en Argentina durante la guerra, regresó, reclamado por las autoridades franquistas. Y también lo hizo, aunque manteniendo el régimen de compartir su cátedra en Buenos Aires con la de Madrid, el matemático Julio Rey Pastor. Considerado, sin embargo, el conjunto de las pérdidas sufridas, y lo que vino después —no todo, sin duda, negativo para la ciencia y tecnología españolas—, hay que

concluir que se tardarían décadas en que España volviese a disponer de científicos de la talla de los que surgieron durante el primer tercio del siglo xx.

De la Junta para Ampliación de Estudios al Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Vimos en el capítulo 2 que en ningún lugar prosperó más, en general, la ciencia española del primer tercio del siglo xx que en la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Sin embargo, esta institución no gozó, por decirlo suavemente, de las simpatías de los vencedores de la guerra civil, que la consideraban —no sin razones, efectivamente—, un «nido» de librepensadores republicanos, algo que por supuesto no eran todos los que trabajaron allí.

Son muchos los ejemplos que muestran los sentimientos contrarios a la Junta tras 1939. Mencionaré uno, debido a un hombre que fue muy importante en el desarrollo de la política del régimen franquista: José María Albareda (1902-1966), el químico especializado en edafología (química de los suelos) que desde 1939 hasta su muerte fue secretario general de la institución que sustituyó a la Junta, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (miembro del Opus Dei desde 1937, fue ordenado sacerdote en 1959, y rector de la Universidad de Navarra de la Obra, desde su creación, en 1960, un puesto que compatibilizó con su cargo de secretario general del Consejo).

En unos de los papeles de Albareda —que fue pensionado por la JAE durante veintinueve meses, entre 1928 y 1930, en Bonn (Institut für Chemie der Land), Zúrich (Agrikulturschemischen Laboratorium de la Escuela Politécnica) y Königsberg (Pflanzenbau-Institut)— escribía (en torno a 1939):[121]

> Ya es conocida la tendencia antinacional que dominó la actuación de esta institución [la JAE], que supo reunir, al

liberalismo corrosivo de la doctrina, la estrechez excluyente de las personas. No quiso vitalizar la gloriosa tradición ecuménica de la Ciencia española, sino sustituirla por un turbio aluvión en que, a lo científico, se ligaba la infiltración irreligiosa, el tono extranjerizante y la mezquindad partidista.

Hubo, además, en la prolongada labor de la Junta para ampliación de estudios, otras orientaciones rechazables. Actuó disociada, cuando no enfrentada a la Universidad, a la que trató con altanería y desdén.

Socavó la investigación técnica, lo mismo en las pensiones al extranjero que en la creación de Centros y Laboratorios. Esta deficiencia quiso subsanarse tardíamente, con recursos proporcionados al retraso, y en julio de 1931, como una dilatación de la Junta, aunque independiente en lo administrativo, se creó la Fundación de investigaciones científicas y ensayos de reformas, cuya nimia influencia en el desarrollo de la técnica española, estuvo en contraste con su solapada labor al servicio de la política antinacional.

En otros de esos documentos de Albareda, aparecen comentarios específicos referidos a una de las perlas de la investigación científica española de antes de la guerra, el Instituto Nacional de Física y Química, construido, recordemos, a principios de los años treinta con una ayuda de la Fundación Rockefeller:122

Queda, pues, como Centro inmediatamente ligado al Consejo, el Instituto de Física del Rockefeller. Exige pensar concienzudamente en su situación. Los físicos de la escuela de Cabrera están persuadidos de que hoy la Física en España es un coto cerrado, en el que, formado el cuadro, nadie podrá penetrar. Dicen que ni siquiera se puede aprobar una tesis doctoral, porque no hay más que un catedrático, Palacios. Y de ahí deducen que es imprescindible la vuelta de Cabrera y el traslado a Madrid de alguno de sus discípulos: de su hermano, que está en Zaragoza; de Velasco, que esperó tranquilamente en Inglaterra el desenlace de la guerra y fue repuesto con la sanción de seis meses de suspensión, por lo que está más rojo que nunca, etc. El hecho es que hoy, en la Sección de Física del Rockefeller sólo hay una tesis doctoral a punto de ultimar, la de un rojo: Berasain, que estaba en Canarias, y no lo incorporó el Servicio Meteorológico militarizado durante la guerra por falta de confianza. Hay en esta materia, como en otras, un

> agotamiento de temas que impone la renovación. Se agotan las rayas del espectro de Catalán, sin que haya logrado, como ha intentado largamente, realizar trabajos sobre tema más moderno: el efecto Raman. Está exhausto el magnetismo de Cabrera. Van muy trilladas las redes cristalinas de Palacios. Mientras tanto, la Física hace brotar impetuosamente temas novísimos, de los que nuestra investigación está al margen. No podemos seguir condenados a no tener más investigación física que la que produce la técnica que nuestros físicos aprendieron en su juventud. Es necesario traer un físico extranjero, mucho más barato, sencillo y eficaz, que empezar por enviar pensionados. En la escuela del italiano Fermi, premio Nobel de Física, hay alguna figura que habría que traer. Hay que traer también un matemático; italianos los hay magníficos. Rey Pastor es una gran figura, pero es solo el científico puro de la Matemática, y al margen de esa dirección pura, hay ramas muy fecundas y prácticas —Volterra en matemáticas aplicadas a la Biología, Humberto Cisotti en mecánica de fluidos, etc.— que nos interesa enormemente trasplantar, más, si la investigación, además del progreso de la ciencia pura, ha de tener sentido práctico.

Se trataba, por tanto, no sólo de intentar mejorar la investigación científica española, sino de hacerlo sin contar con los ideológicamente desafectos.

No es sorprendente, por consiguiente, que el nuevo Estado que surgió de la guerra civil se apresurase a abolir la Junta para Ampliación de Estudios, creando una nueva organización científica nacional: el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que controlaría y promovería durante décadas una parte muy importante de la investigación científica realizada en España. Ahora bien, la ruptura con el pasado no pudo, por mucho que lo deseasen los vencedores de la guerra, ser completa: en lo referente a instalaciones y material, el CSIC fue heredero de la JAE. Así, en el artículo 6.° del título II («De los centros de investigación y del intercambio científico») de la Ley de 24 de noviembre de 1939 por la que se creaba el Consejo, se establecía que «Todos los Centros dependientes de la disuelta Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, de la Fundación de

Investigaciones Científicas y Ensayos de Reformas y los creados por el Instituto de España, pasarán a depender del Consejo Superior de Investigaciones Científicas».

En el acto formal inaugural del Consejo, que tuvo lugar el 30 de octubre de 1940, el ministro de Educación Nacional, y por razón del cargo también presidente de él, José Ibáñez Martín (siguió siendo presidente del Consejo —durante veintiocho años— incluso después de cesar como ministro) manifestaba, muy en el estilo de aquella época y aquellos personajes: «Queremos una ciencia católica, esto es, una ciencia que por sometida a la razón suprema del universo, por armonizada con la fe "en la luz verdadera que ilumina a todo hombre que viene a este mundo", alcance su más pura nota universal. Liquidamos, por tanto, en esta hora, todas las herejías científicas que secaron y agostaron los cauces de nuestra genialidad nacional y nos sumieron en la atonía y la decadencia». Unas palabras que por sí mismas sugieren —como de hecho fue— que el CSIC estuvo muy influido por el sector nacional-católico del régimen, más que por el fascista-falangista.[123] No es éste, sin embargo, el lugar para analizar la historia del Consejo; sí añadiré, no obstante, que durante las primeras décadas de su existencia se centró más en la investigación aplicada que en la básica, algo, por otra parte, coherente con las necesidades de la situación política, especialmente después de la derrota de Alemania y el subsiguiente aislamiento internacional que sufrió España y al que me referiré con algo más de detalle en el próximo capítulo. Recordemos que desde el final de la guerra civil hasta, aproximadamente, 1962, año en el que se dictaron las primeras normas para la liberalización de la actividad industrial, la política económica del Estado español giró en torno a la autarquía, a un nacionalismo económico mucho más duro del que se había dado hasta entonces. Esta política tuvo diferentes orígenes: se puede considerar que la autarquía nació durante la segunda mitad de los años treinta en las potencias del Eje, deseosas de lograr una libertad de movimientos de cara a un posible conflicto generalizado. Significaba prescindir enteramente,

o casi, de las importaciones y convertirse en autosuficientes. Así, por ejemplo, la autarquía alemana estimuló extraordinariamente la síntesis química de muchos productos, desde las fibras textiles a los combustibles, pasando por el caucho. Pero Alemania era desde la segunda mitad del siglo XIX la nación líder en la química mundial y en este sentido aquellos avances no fueron sino un paso más en un camino ya preparado.

La ideología de los vencedores de la guerra civil española, sus simpatías por el fascismo alemán, contribuyeron a que se buscase adoptar su mismo modelo económico-productivo. Además, como han señalado Braña, Buesa y Molero, hay que contar con los intereses de las distintas facciones de la burguesía española en lucha por ocupar las posiciones hegemónicas y en contra de los intereses de los capitales extranjeros y del proletariado industrial y campesino.[124] La Ley de Ordenación y Defensa de la Industria Nacional aprobada el 24 de noviembre de 1939 configuró el modelo de industrialización autárquico, al instaurar, por un lado, la exigencia de una autorización administrativa previa para cualquier instalación, ampliación o traslado de industrias, así como fuertes barreras a la entrada de capitales extranjeros y, por otro, la reserva a la producción nacional del mercado público, al obligar a todos los entes ligados a la administración a efectuar sus compras de bienes y servicios a empresas españolas. El 25 de septiembre de 1941 se creaba el Instituto Nacional de Industria (INI), con el cual se quería hacer más efectiva la intervención del Estado. En la práctica, sin embargo, el INI no pudo desplegar la mayor parte de sus proyectos por falta de financiación estatal y por las barreras que encontró, en la misma administración, para acudir a la financiación privada. En los primeros años sólo pudo implementar a fondo aquellas iniciativas más acordes con objetivos militares como la extensión de redes telegráficas y telefónicas en el Marruecos español, y otros difícilmente evitables en aquel momento como la destilación de combustibles líquidos a partir de pizarras y

lignitos (tengamos en cuenta que la falta de comercio exterior y de divisas dificultaba enormemente la importación de petróleo; el 17 de mayo de 1947 se declaró que la fabricación de gasógenos adaptables a vehículos automóviles constituía una industria de «interés nacional»). Los objetivos genuinamente civiles del INI fueron postergados continuamente hasta la década de los años cincuenta.

En resumen, en lugar de intentar aprovechar la «neutralidad» española durante la Segunda Guerra Mundial para beneficiar a la industria nacional, se desaprovechó la ocasión encontrándonos al final de la contienda en una situación de aislacionismo político, económico e industrial que promovía, a su vez, esa misma autarquía.

Es difícil, por no decir imposible, mantener un sistema autárquico cuando no se es capaz de suplir con la propia capacidad tecnológica la ausencia del recurso a comprar fuera. Esta característica intrínseca de la autarquía produjo en España una sensibilidad por lo aplicado, por la técnica, por lo necesario para la vida diaria, que es visible en diferentes dominios. Por un lado en las ramas industriales declaradas de interés nacional: fabricación de automóviles (1940), fabricación de compuestos nitrogenados (1940), empresas mineras o metalúrgicas que contribuyesen a la mejora del comercio exterior (1940), industria de la celulosa textil (1940), industria de aprovechamiento de primeras materias textiles (1940), industria aeronáutica (1940), fabricación de materias plásticas (1947), fabricación de productos sustitutivos de la chatarra en procesos siderúrgicos (1947) y fabricación de penicilina y antibióticos (1948).

El sistema autárquico, y las obligaciones que impuso, se manifestaron también en el CSIC. Y no sólo como una obligación impuesta desde el exterior: Albareda participaba plenamente del interés por lo aplicado.

Así, en uno de los documentos que he citado antes, al analizar la situación en que se encontraba la investigación científica en España, o, mejor, lo que se podía hacer con los

medios humanos existentes tras la victoria, Albareda efectuaba observaciones que se deben leer en esta clave. Insistía en la necesidad de no olvidar lo aplicado; un énfasis natural en alguien de su educación (farmacéutico, además de químico; su primera cátedra fue —en 1928— una de Agricultura, en el Instituto de Huesca, y en el extranjero trabajó, como he indicado, en centros eminentemente aplicados), y más aún si tenemos en cuenta la situación de aislamiento en que se encontraba España en 1939, y la subsiguiente política autárquica que, como acabo de mencionar, se quiso implantar. «La investigación», escribía al ministro Ibáñez Martín, amigo íntimo suyo, «no puede desconectarse de servicios públicos que competen a otros Ministerios: hay un Instituto Geológico y Minero dependiente del Ministerio de Industria y Comercio; un Instituto Agronómico y otro de Investigaciones Forestales, en el Ministerio de Agricultura; otro de Obras Públicas; uno de Sanidad en Gobernación; hasta el Banco de España tiene su Centro de Estudios, que son investigación también. La investigación es algo ligado a la vida, y no cabe pensar en un órgano independiente de investigación.» Con ocasión de un viaje que realizó, ya como secretario del CSIC, a Valencia, escribió: «Se oye decir en Valencia que la universidad representa poco; que la huerta puede más que la universidad; pero hay que pensar que la huerta debería ser objeto de estudio por la universidad. La universidad no deberá ser absolutamente ajena a la huerta».

Con un secretario general de este talante, y en la España autárquica de comienzos de los cuarenta, no nos debe extrañar que, por poner un ejemplo, en 1948 el Patronato «Juan de la Cierva», el Patronato del CSIC dedicado a la ciencia aplicada, recibiese un presupuesto mayor (15.958.000 pesetas) que los cinco patronatos restantes juntos.[125] Y no sólo eran privilegios en la financiación percibida, también recibió otros: su reglamento, aprobado en junio de 1945, le dotó de personalidad jurídica, facultándole para crear institutos y administrar sus propios recursos. Otra muestra del interés

que se ponía en él, como posible instrumento para beneficiar a la industria nacional, fue la designación como su presidente de Juan Antonio Suanzes, cuando éste ya era presidente del INI; Suanzes mantuvo el puesto hasta 1969, poco antes de que el Patronato fuese desmantelado. El químico Manuel Lora-Tamayo, que fue secretario general del «Juan de la Cierva» (en 1962 fue nombrado ministro de Educación, cargo que mantuvo hasta 1968), se refirió en sus memorias a la importancia de este Patronato en los siguientes términos:126 «Un largo paréntesis quedó abierto ... hasta la designación de Juan Antonio Suanzes como presidente del Patronato "Juan de la Cierva", cuando ya era presidente y fundador del Instituto Nacional de Industria ... Fue un gran acierto reunir ambas presidencias en personalidad tan excepcional como la suya ... En la época actual, que vuelve de nuevo a buscar las relaciones de la investigación científica y tecnológica como base para una política económica de visión integral, hay que recordar el desdichado desguace en 1970 de la estructura y organización del Patronato "Juan de la Cierva" en cuyos consejos se establecían fructíferos contactos entre científicos, técnicos y gerentes de empresa».

El Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica

Junto al CSIC, es preciso mencionar, como los otros referentes de la ciencia y la técnica, de la combinación «ciencia-tecnología» que caracterizó a la España de las primeras décadas tras la guerra civil, al Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica (INTA), establecido en 1942, dependiente del Ministerio del Aire, y a la Junta de Energía Nuclear, que formaba parte del Ministerio de Industria y de la que me ocuparé en el capítulo siguiente.127 Fue una decisión natural establecer un organismo especializado en aviación: España poseía una tradición aeronáutica, la guerra civil había demostrado ya la importancia de la aviación, y la guerra mundial en curso lo estaba mostrando con mucha más intensidad.

En la España de la posguerra, sumergida en un profundo aislamiento político, con graves consecuencias tecnológico-industriales, las actividades del INTA —cuyo patronato presidía Esteban Terradas— fueron más allá del mundo aeronáutico, cumpliendo objetivos que, en principio, no estaban necesariamente dentro de sus funciones. Así, cuando se consideran las tareas que en la práctica llevó a cabo el Instituto durante sus primeros años nos encontramos, por ejemplo, con que con frecuencia actuó como una especie de Agencia Nacional de Investigación y Control de Calidad, o, si se prefiere, que desarrolló tareas que en otros países eran propias de laboratorios nacionales de tecnología y metrología (los ya citados National Physical Laboratory británico, el Physikalisch-Technische Reichsanstalt alemán, o el National Bureau of Standards estadounidense).

En principio, al INTA le estaba encomendada la misión de homologación de material relacionado con la aeronáutica, lo que implicaba, por ejemplo, comprobar la calidad de los combustibles empleados en aviación, o de los materiales que se utilizaban para fabricar aviones, pinturas, aceites, etc. Naturalmente, no es posible comprobar y homologar, en un campo en constante evolución, sin equipos de investigación. El INTA fue formando tales grupos, algunos únicos en su especialidad en la España de aquellos años. La aportación científica del INTA fue especialmente importante en la ciencia de los materiales y de la combustión, dos dominios que, a pesar de que alguno piense lo contrario, aunque relevantes para la tecnología, deben considerarse también como pertenecientes al ámbito científico, y que, por tanto, deben encontrar acomodo en una historia de la ciencia española.

Da idea del papel del INTA a la ciencia hispana el que algunos de sus miembros más destacados llegasen a formar parte de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; son los casos de su primer director, Felipe Lafita Babio, que fue elegido en 1963 (su discurso de entrada versó sobre *Problemas de vibraciones mecánicas en ingeniería*),

de Gregorio Millán Barbany (*Problemas matemáticos de la mecánica de fluidos. Estructura de las ondas de choque*, 1975) y de Amable Liñán (*El papel de la mecánica de fluidos en los procesos de combustión*, 1991), los tres ingenieros aeronáuticos.[128] De hecho, Millán fue durante algún tiempo un estrecho colaborador de von Kármán, con el que publicó tres trabajos (dos en 1953 y uno en 1956), y éste un dedicado y celebrado amigo del INTA, al que ayudó en muy diversas formas, a partir de un cierto momento con la mirada complaciente —por razones políticas (a las que volveré en el capítulo siguiente, cuando hable de la Junta de Energía Nuclear)— de las autoridades de Estados Unidos. De nuevo, ciencia y política; en este caso más bien, el triángulo «ciencia-tecnología-política».

Capítulo 11

LA MILITARIZACIÓN DE LA CIENCIA: LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL Y LA GUERRA FRÍA

El 1 septiembre de 1939 comenzaba la Segunda Guerra Mundial. Es evidente que el mundo sufrió profundos cambios tras aquel prolongado conflicto (seis años) que se extendió a lo largo y ancho del planeta, dejando pequeña en extensión geográfica y temporal a la Gran Guerra, ahora sí, la *Primera* Guerra Mundial. Pero las consecuencias de aquel dramático conflicto no se limitan a la política o a la sociedad, tomada ésta en su sentido más general; la ciencia, el objeto del presente libro, también se vio transformada por la experiencia bélica: no en vano la contienda afectó, directa o indirectamente, a cerca del 90 por 100 de la humanidad. En este capítulo me ocuparé de estudiar esas consecuencias. En primer lugar, trataré los años de guerra, fijándome especialmente en los dos programas científico-tecnológicos más importantes y llamativos, el asociado a la construcción de la bomba atómica y el del radar. En segundo lugar, analizaré la posguerra y la Guerra Fría, en donde se manifiesta con mayor claridad cómo modificó la experiencia de aquellos años de conflicto la actividad y organización científica.

Como se verá enseguida, la ciencia estadounidense acapara la mayor parte de lo que se dice en este capítulo; es su primer y gran protagonista. La justificación de esta, en varios sentidos, limitación se encuentra en el hecho de que la conflagración mundial coincidió con el ascenso de la ciencia estadounidense a la hegemonía mundial, especialmente de las ciencias físico-químicas. El éxito de la aplicación de la ciencia a la guerra, incomparablemente

más rotundo que durante la Primera Guerra Mundial, unido a las grandes dimensiones que permitía el tamaño, población, potencia económica e industrial de Estados Unidos, marcaron el modo de hacer ciencia de la posguerra, al igual que, en apartados muy significativos, el futuro. La «militarización de la ciencia» es, naturalmente, uno de los rasgos de ese modo, especialmente acusado en Estados Unidos, la potencia dominante de ese período, junto a la Unión Soviética, de cuyo desarrollo científico también me ocuparé en este capítulo, aunque no tanto debido sobre todo a que sabemos menos del caso soviético que del norteamericano.

Subyaciendo a todo lo que voy a comentar a continuación, consecuencia de ello y de la historia previa, al mismo tiempo que ligadura que ha condicionado fuertemente bastantes de las posibilidades y métodos de actuación dentro de la actividad científica, se encuentra un hecho que no se puede olvidar, y cuyo significado, dinámica y estructura fue estudiado con vigor y acierto por Derek J. de la Solla Price hace ya bastantes años: el crecimiento exponencial del número de profesionales de la ciencia, que hace que en la actualidad vivan alrededor del 90 por 100 de los científicos que hayan existido jamás,[1] un fenómeno este, por otra parte, que distingue a la ciencia de mucho de lo que no es ciencia.[2] Es evidente que semejante abundancia condiciona todo tipo de actuaciones. Es factible, por ejemplo, abordar proyectos (la *Gran Ciencia*) que necesitan muchos profesionales para poder ser desarrollados; por otra parte, la competencia entre científicos es más intensa, lo que repercute en sus comportamientos, incluyendo, naturalmente, el tipo de problemas científicos que están dispuestos a considerar. Para controlar esa competencia es preciso establecer agencias, normalmente estatales, que evalúen proyectos y repartan fondos para llevarlos adelante, entrando ahí, por consiguiente, la política científica. Aunque en lo que sigue no mencione explícitamente estos hechos, se deben tener en cuenta como factor que condiciona, repito, el desarrollo

científico.

La fisión nuclear

En el capítulo anterior ya me he referido, parcialmente, a algunos aspectos relacionados con los esfuerzos científicos que condujeron a la fabricación de la bomba atómica. Es conveniente, no obstante, explicar de manera algo más completa y sistemática tales esfuerzos, haciendo hincapié ahora en el lado estadounidense.

Recordemos que en el capítulo 6 nos encontramos con que la mejor forma para estudiar la estructura de la materia era irradiándola, o bombardeándola, con partículas más pequeñas (partículas α, electrones, neutrones). En el otoño de 1938, Otto Hahn, que continuaba en el Instituto de Química de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft situado en Dahlem, realizó una serie de experimentos con su colaborador Fritz Strassmann, utilizando esa misma metodología: bombardeaba con neutrones (lentos) al uranio. Para su sorpresa, observaron que obtenían bario, un elemento mucho más ligero (casi la mitad) que el uranio.[3] Parecía que el núcleo de uranio se había partido en dos, que se había *fisionado*. Pero jamás se había observado algo parecido; las transmutaciones atómicas descubiertas hasta entonces involucraban transformaciones de un elemento a otro cercano a él en la tabla periódica. El 6 de enero de 1939 publicaron un artículo en el que manifestaban sus dudas ante sus «peculiares resultados... Como químicos debemos afirmar que los nuevos productos son bario... Sin embargo, como químicos nucleares, que trabajan muy próximos al campo de la física, no podemos decidirnos a dar un paso tan drástico que va en contra de todos los experimentos realizados anteriormente en la física nuclear. Acaso se hayan dado una serie de coincidencias poco habituales que nos han proporcionado indicaciones falsas».[4]

Lise Meitner, la colaboradora durante treinta años de Hahn, pero que —ya lo vimos— debido a su origen judío tuvo que abandonar el Instituto y Alemania, fue la primera

en enterarse, estando en Estocolmo. Su sobrino, el físico Otto R. Frisch, que había ido a pasar con su tía las vacaciones de Navidad en la pequeña ciudad de Kungälv (cerca de Gotemburgo) y con quien Meitner interpretaría los nuevos resultados, describió la reacción de Lise y los acontecimientos que siguieron a continuación:[5]

> Cuando salí de la habitación del hotel ... encontré a Lise Meitner enfrascada en una carta de Hahn y visiblemente preocupada. Quise contarle un experimento nuevo que estaba planeando, pero sin prestarme atención me dio a leer la carta. Lo que decía era realmente tan asombroso que al principio me mostré escéptico...
>
> ¿Un simple error? Lise Meitner opinaba que no; Hahn era un químico demasiado bueno para cometerlo. Pero, ¿cómo podía formarse entonces bario a partir de uranio? De los núcleos no se habían extraído jamás fragmentos más grandes que protones o núcleos de helio (partículas alfa), y para arrancar gran número de ellos ni siquiera había energía suficiente. Tampoco era posible que el núcleo de uranio se hubiera dividido sin más en dos. Un núcleo no era como un sólido quebradizo que se pudiese romper o partir; George Gamow había sugerido años atrás que el núcleo podía ser más bien como una gota líquida, y Bohr había dado argumentos que lo apoyaban. ¿No sería que la gota se dividía de manera más gradual en dos más pequeñas, adoptando primero una forma alargada, adelgazando luego por el centro y estirándose finalmente en dos fragmentos en lugar de romperse bruscamente? Sabíamos que había fuerzas intensas que se oponían a ese proceso, igual que la tensión superficial de una gota líquida se opone a que se divida en dos más pequeñas. Pero los núcleos diferían de las gotas de líquido en un aspecto importante: tenían carga eléctrica y se sabía que la carga contrarrestaba la tensión superficial.

Esta idea resultó clave. Inmediatamente, en medio de la nieve, Frisch y Meitner empezaron a garabatear números, viendo que la carga de un núcleo de uranio era, efectivamente, suficiente para superar casi por completo el efecto de la tensión superficial, de manera que el núcleo de uranio podía asemejarse realmente a una gota muy temblorosa e inestable, lista para dividirse a la menor provocación, como podría ser el impacto de un solo

neutrón. Con la ayuda de la fórmula einsteiniana $E=mc2$, pudieron explicar otros detalles, llegando a la conclusión de que eran capaces de entender el fenómeno descubierto por Hahn y Strassmann, ¡y todo antes de que se hubiese publicado el artículo de éstos!

Dos días después Frisch se marchó a Copenhague, deseoso de hacer partícipe a Bohr de estos desarrollos. El destacado físico danés comprendió enseguida la idea, entusiasmándose con ella. Ocurría que Bohr estaba a punto de embarcar rumbo a Estados Unidos, para pasar tres meses en la Universidad de Princeton, donde iba a explicar la teoría cuántica de la medida. Con él iban su hijo Erik y un estrecho colaborador suyo, Léon Rosenfeld. El 16 de enero el barco llegaba a Nueva York, donde le esperaban John Wheeler y Enrico y Laura Fermi. Nada más desembarcar, todavía en el muelle, Bohr dijo unas palabras a John Wheeler sobre las noticias que Frisch le había traído. Niels y Erik se fueron entonces con los Fermi para una breve estancia en Nueva York, antes de trasladarse a Princeton, y Wheeler se llevó consigo a Rosenfeld a esta pequeña población de New Jersey. En el camino Wheeler convenció al colaborador de Bohr para que diese una charla en Princeton sobre el descubrimiento de Hahn y Strassmann, la interpretación de Meitner y Frisch, y la conclusión que Bohr había desarrollado con Rosenfeld durante la travesía, de que el nuevo proceso encajaba de manera natural con la teoría del núcleo compuesto de las reacciones nucleares, todo ello ignorado en Estados Unidos. La descripción de Rosenfeld causó una gran excitación, y malestar a Bohr cuando supo de ella, ya que quería proteger el trabajo de Meitner y Frisch hasta que fuese publicado (lo sería el 11 de febrero), al igual que unos experimentos que Frisch estaba realizando en Copenhague; por este motivo no había dicho nada a Fermi.[6] En palabras de Rosenfeld:[7] «El efecto de mi charla a los físicos americanos fue más espectacular que el propio fenómeno de fisión. Se apresuraron a propagar la noticia en todas direcciones y muy pronto los fragmentos de la fisión habían sido vistos en los

osciloscopios de varios laboratorios de Estados Unidos, una llamativa demostración que era bastante fácil de producir».

Efectivamente, una vez conocidas las noticias los físicos norteamericanos se lanzaron con furor a explotar la nueva veta descubierta, dando la razón a Bohr en sus temores. Un miembro del equipo de Fermi en Columbia, Herb Anderson, se dispuso a realizar los mismos experimentos que Frisch estaba efectuando en Copenhague para estudiar mejor los productos de la fisión, y el 26 de enero Fermi, sin mencionar a Frisch, habló sobre la fisión en una pequeña reunión de física teórica celebrada en Washington, D. C., patrocinada por la Universidad George Washington y la Fundación Carnegie, algo que enfureció a Bohr, también presente en la reunión. A finales del mes la noticia llegaba a los periódicos; el día 29, por ejemplo, el *New York Times* se ocupaba de ella.

En la costa oeste también se recibían las noticias. El 28 de enero, Robert Oppenheimer, el futuro líder del Proyecto Manhattan, escribía a William Fowler:[8]

> El asunto del U [uranio] es increíble. Nos enteramos de él en primer lugar por los periódicos, telegrafiamos pidiendo más información y hemos recibido muchos informes desde entonces. Ya sabes que comenzó con el hallazgo de Hahn de que lo que había tomado por Ra [radio] en una de las actividades del U, resultó ser Ba [bario]... Muchos puntos están todavía oscuros:... ¿de cuántas maneras se rompe el U? ¿Aleatoriamente, como se podría esperar, o solamente de ciertas maneras? Y lo más importante de todo, ¿se emiten muchos neutrones de la ruptura o de las piezas resultantes?

Este último punto era esencial, ya que si en la reacción descubierta por Hahn y Strassmann se producía más de un neutrón, entonces era imaginable pensar que se podía desencadenar una reacción en cadena (los neutrones liberados podían colisionar con otros núcleos de uranio, liberando en cada caso energía y neutrones, y así sucesivamente). Igualmente, era posible pensar que se podría producir en fracción de segundos una gran cantidad de energía, que permitiese, en el caso de una reacción en

cadena más o menos incontrolada, fabricar un arma tremendamente poderosa, o, si se pudiese controlar y liberar poco a poco, una fuente energética, un reactor nuclear, utilizable con fines pacíficos. Pero para los físicos implicados en el asunto, aunque estas ideas eran imaginables y, por consiguiente, acaso posibles, su realización se veía muy alejada en el futuro. Como se decía en el número de octubre de 1939 de la revista de divulgación científica *Scientific American*: «La producción de energía mediante la fisión nuclear no pasa del ámbito de lo posible. Bajo las condiciones actuales, el proceso es tan poco eficiente como sacar arena de una playa grano a grano».

Pronto se abordó la cuestión del número de neutrones emitidos en cada fisión, obteniéndose en París (Joliot-Curie) el valor medio de 3,5, mientras que en Columbia (Fermi) eran 2 los neutrones contabilizados.[9] El camino hacia la reacción en cadena, por consiguiente, continuaba estando abierto.

Es importante señalar que todas estas investigaciones y noticias circulaban, por el momento, libremente. En su célebre informe oficial del desarrollo de la bomba atómica, realizado con el patrocinio del gobierno de Estados Unidos y publicado en 1945, Henry de Wolf Smyth ofrecía algunos «Datos definitivos y generalmente conocidos sobre la fisión», tanto en Estados Unidos como en otros países, en junio de 1940.[10] Entre estos datos figuran los siguientes:

1) Los fragmentos de la fisión poseían una energía cinética muy elevada;
2) la fisión del uranio se podía producir por medio de neutrones rápidos o lentos (los denominados de velocidad térmica); en particular, neutrones térmicos provocaban la fisión de uno de los isótopos del uranio, el U-235, pero no del U-238, y los neutrones rápidos tenían menor probabilidad de causar la fisión en el U-235 que los neutrones térmicos;[11]
3) para ciertas velocidades de los neutrones existía una

gran sección eficaz de captación en el U-238, produciendo el U-239, pero no fisión;
4) en el proceso de fisión se emitían neutrones de alta velocidad;
5) el promedio de neutrones liberados por fisión era, aproximadamente, de entre 1 y 3;
6) neutrones de alta velocidad podían perder energía por choque inelástico con núcleos de uranio sin que se produjera ninguna otra reacción nuclear;
7) la teoría semiempírica de Bohr-Wheeler (desarrollada por ambos durante la estancia de Bohr en Princeton) explicaba bastante bien la mayoría de los datos conocidos y hacía, además, nuevas predicciones.

Notemos de estos datos la importancia que adquiría el isótopo 235 del uranio, el menos abundante en la Naturaleza (la proporción del U235 es del 0,72 por 100, mientras que la del U-238 es de 99,28 por 100).12

Mientras los físicos norteamericanos se afanaban en estas investigaciones, Europa caminaba hacia una nueva guerra. La percepción de la aparente inevitabilidad de una nueva tragedia llevó a algunos físicos europeos a plantearse estas investigaciones con un horizonte inmediato diferente al de sus colegas del otro lado del océano. Éste fue el caso en particular de Leo Szilard (1898-1964), el activo científico húngaro de origen judío con quien ya nos encontramos en el capítulo anterior.

Leo Szilard: un científico emprendedor

Tras abandonar Alemania, Szilard se instaló en Londres. Justo poco después de haber llegado a la capital inglesa, se celebró, en septiembre (1933), la reunión anual de la British Association for the Advancement of Science, y Szilard leyó en los periódicos que Rutherford había manifestado allí que quien hablase de la utilización industrial de energía procedente de los átomos era poco menos que un lunático. Este comentario animó a Szilard a

pensar sobre el tema y «de repente se me ocurrió que si pudiésemos encontrar un elemento al que se le pudiese partir mediante neutrones y que emitiese *dos* neutrones cuando absorbiese un neutrón, tal elemento, juntado en masa suficiente, podría mantener una reacción nuclear en cadena».13 Poco después, Frédéric Joliot-Curie e Irène Curie descubrían la radiactividad artificial y Szilard veía más claramente cómo se podía explorar la posibilidad de una reacción en cadena, aunque no consiguió suscitar mucho entusiasmo. En primer lugar probó con el berilio, pero sin éxito. A pesar de no ser capaz de encontrar un candidato, su sentido comercial (y político) le llevó a solicitar en la primavera de 1934 una patente para las leyes que, según él, gobiernan una reacción en cadena. Consciente de lo que sus ideas implicaban y no deseando que éstas fuesen accesibles libremente, asignó la patente al Almirantazgo británico, la única manera de evitar su difusión. La patente («Improvements in or relating to the transmutation of chemical elements») fue aceptada el 12 de diciembre de 1935.14 Hasta finales de 1937 Szilard permaneció, con alguna ausencia, en Inglaterra, donde llegó a lograr una pequeña beca en Oxford; prácticamente en solitario continuó pensando en la reacción en cadena.

Viendo que la guerra estaba cerca, Szilard se trasladó a Estados Unidos, adonde llegó el 2 de enero de 1938, sin tener ningún trabajo.15 Allí supo, a través de Eugene Wigner, del descubrimiento de Hahn y Strassmann. Pocas personas en el mundo podían apreciar mejor que él las consecuencias del hallazgo. Comenzó a partir de aquel momento una etapa, intensa y complicada, en la que Szilard se movió con rapidez entre sus colegas estadounidenses, manteniendo, asimismo, correspondencia con otros en Inglaterra y Francia (Joliot-Curie). Expresado brevemente,16 Szilard quería que se comprobase inmediatamente si la fisión producía, como él pensaba, neutrones, y que en el caso de que así fuese no se publicasen los resultados para evitar que los alemanes tuviesen conocimiento de ello. Fermi, que pronto comprobó

que, efectivamente, se producían neutrones, no estaba en favor de esta táctica; Edward Teller sí. Pero mientras discutían, y estando Fermi ya convencido, Joliot-Curie publicó una nota en *Nature* en la que se señalaba claramente que en la fisión del uranio se emitían neutrones, indicándose además que esto podía llevar a una reacción en cadena.17 Fermi entonces se decantó claramente en favor de publicar. Esto ocurría en marzo, el mismo mes en que las tropas alemanas tomaban lo que quedaba libre de Checoslovaquia.

En abril prosiguieron los experimentos de los grupos de París y de Columbia, encontrándose que el número de neutrones era de dos o tres, con lo que la posibilidad de la reacción en cadena se confirmaba aún más.18 Ese mismo mes, científicos estadounidenses, británicos, alemanes y franceses solicitaban ayuda a sus respectivos gobiernos para investigar la fisión, pidiéndoles asimismo que vigilaran los abastecimientos de uranio.19 No es que estuvieran convencidos de que fuese posible una reacción en cadena altamente explosiva (ya comenté este punto en el capítulo anterior a propósito de los físicos alemanes), tal idea era patrimonio de muy pocos, pero algunos sí que pensaban que la fisión podría conducir a una fuente energética para ser utilizada en la industria o en submarinos.

En julio, después de haber permanecido tres meses como científico invitado en Columbia, participando en los experimentos del grupo de Fermi, y encontrándose de nuevo sin trabajo, Szilard se reunió con Wigner en Nueva York. Los dos científicos húngaros estaban cada vez más convencidos de que el peligro procedente de Alemania era real y comenzaron a preocuparse por los suministros de uranio, en particular por lo que podría ocurrir si los alemanes tuviesen acceso a los grandes yacimientos del Congo belga. Pensando en qué canales podrían utilizar para advertir al gobierno de Bélgica que no vendiesen uranio a Alemania, se le ocurrió a Szilard que Einstein conocía a la reina de los belgas. Inmediatamente propuso a Wigner que fuesen a verle para informarle de la situación y pedirle que

considerase escribir a la reina.

Einstein estaba de vacaciones, pero pronto le encontraron. Era la primera vez que el genial físico oía hablar —recordó años más tarde Szilard— de la posibilidad de una reacción en cadena, pero entendió enseguida la idea y sus implicaciones. Sin embargo, no le agradaba escribir a la reina, aunque sí se ofreció a hacerlo a un miembro del gobierno belga al que conocía. Iba a hacerlo cuando Wigner sugirió que no sería apropiado dirigirse a un gobierno extranjero sin antes comunicárselo al Departamento de Estado americano. Se acordó entonces que Einstein enviara una copia de la carta que pensaba dirigir a los belgas a este Departamento, junto a una nota indicando que si no recibía ninguna noticia en dos semanas enviaría la carta a Europa. Con este acuerdo se separaron, quedando en investigar cómo aproximarse al Departamento de Estado.

Einstein escribe a Roosevelt

Fue Szilard, una vez más, quien avanzó en esta dirección. Consiguió entrar en contacto con un consejero de la Lehman Corporation, Alexander Sachs, que de hecho ya había oído de los nuevos desarrollos antes de ser visitado por Szilard, e incluso señalado su importancia al presidente.[20] Sachs le aconsejó que Einstein escribiera directamente al presidente Roosevelt y que él personalmente le haría llegar la carta.

Entretanto, Teller, el futuro «padre» de la bomba de hidrógeno (húngaro también, como Wigner, John von Neumann y el propio Szilard), llegó a Nueva York. Junto a Szilard fue a ver a Einstein en su lugar de vacaciones, Peconic. Allí, ambos discutieron con Einstein el contenido de la carta a Roosevelt. La famosa misiva fue escrita el 2 de agosto de 1939, y merece la pena reproducirla en su totalidad:[21]

> Señor:
> Trabajos recientes de E. Fermi y L. Szilard, que me han sido

comunicados en manuscrito, me hacen esperar que el elemento uranio pueda convertirse en una nueva e importante fuente de energía en el futuro inmediato. Ciertos aspectos de la situación que se ha producido exigen que se la vigile cuidadosamente y, si es necesario, que la Administración actúe rápidamente. Creo, por consiguiente, que es mi deber llamar su atención sobre los siguientes hechos y recomendaciones:

En el curso de los últimos cuatro meses se ha hecho probable —a través del trabajo de Joliot en Francia, al igual que de Fermi y Szilard en América— que pueda ser posible establecer una reacción nuclear en cadena en una gran masa de uranio, mediante la cual se generarían vastas cantidades de energía y grandes cantidades de nuevos elementos del estilo del radio. Parece ahora casi seguro que esto podría conseguirse en un futuro inmediato.

Este nuevo fenómeno conduciría también a la construcción de bombas y es concebible —aunque mucho menos seguro— que de esta manera se puedan construir bombas de un nuevo tipo extremadamente poderosas. Una sola bomba de este tipo, transportada por barco y hecha explotar en un puerto, podría muy bien destruir todo el puerto junto a parte del territorio que le rodease. Sin embargo, tales bombas podrían ser demasiado pesadas como para que se las pudiese transportar por aire.

Estados Unidos solamente tiene yacimientos muy pobres de uranio en cantidades moderadas. Existe algún buen yacimiento en Canadá y en la antigua Checoslovaquia, mientras que la fuente de uranio más importante se encuentra en el Congo belga.

En vista de esta situación, acaso pueda usted considerar aconsejable que exista algún contacto permanente entre la Administración y el grupo de físicos que trabajan en reacciones en cadena en Estados Unidos. Una forma posible de lograr esto sería que confiase esta tarea a una persona de su confianza y que acaso pudiera servir de manera no oficial. Su misión podría consistir en lo siguiente:

a) estar en relación con los departamentos gubernamentales, mantenerles informados de los desarrollos que se produzcan y presentar recomendaciones para acciones del gobierno, prestando atención particular al problema de asegurar el suministro de uranio para Estados Unidos;
b) acelerar el trabajo experimental que se está desarrollando actualmente dentro de los límites de los presupuestos de los laboratorios universitarios,

proporcionando fondos, en el caso de que fuesen necesarios, a través de sus contactos con personas que deseen hacer contribuciones a esta causa, y acaso también obteniendo la cooperación de laboratorios industriales que dispongan de los equipos necesarios.

Entiendo que Alemania ha detenido en la actualidad la venta del uranio de las minas checoslovacas de las que ha tomado control. El que haya adoptado esta acción tan pronto puede acaso ser entendido en base a que el hijo del subsecretario de Estado alemán, von Weizsacker, está asociado al Instituto Káiser Guillermo de Berlín, donde se están repitiendo algunos de los trabajos americanos sobre el uranio.

La carta de Einstein, que Sachs sólo pudo hacer llegar a Roosevelt en octubre, unida a los sentimientos que había suscitado la fisión en Estados Unidos, así como al desarrollo de la física atómica y nuclear en esa nación, dieron fruto. En octubre de 1939 se formaba un Comité (del Uranio) nombrado por el presidente, y encabezado por el director del National Bureau of Standards, Lyman J. Briggs, para coordinar la investigación dirigida a conseguir la separación de los isótopos de uranio y una reacción en cadena sostenida. Szilard, Wigner y Teller, junto a representantes del Ejército de Tierra y de la Marina, y Richard Roberts, de la Carnegie Institution, formaron parte del Comité. El 1 de noviembre, el Comité informaba al presidente que la reacción en cadena era una posibilidad, pero que no estaba demostrada, y que a pesar de las incertidumbres existentes el gobierno debería apoyar una investigación detallada, adquiriendo inmediatamente cuatro toneladas de grafito puro (uno de los moderadores —sustancia que controla la proliferación de neutrones— posibles), así como cincuenta toneladas de óxido de uranio, para el caso de que las investigaciones preliminares justificasen continuar con el proyecto. El presidente se dio por enterado, pero no sucedió nada.

Una vez más, Szilard, demostrando un empeño ejemplar, tomó la iniciativa redactando un artículo para *Physical Review*, la principal revista de física de Estados Unidos, leída además en todo el mundo, en el que describía

cómo podía tener lugar una reacción en cadena con uranio, empleando como moderador grafito (sin embargo, con el artículo envió al editor de la revista una carta en la que le pedía que retuviese sin publicar el artículo hasta nueva orden). Solicitó de nuevo ayuda a Einstein, quien el 7 de marzo de 1940 escribió a Sachs informándole del artículo, así como de que si no se hacía algo éste se publicaría. El mediador se dirigió a su vez al presidente el día 15. Roosevelt contestó que lo mejor sería que el Comité volviese a reunirse. Sachs pidió entonces a Briggs que convocase al Comité; éste respondió afirmativamente requiriendo también la presencia de Sachs, quien preguntó qué pasaba con Szilard y Fermi. La respuesta de Briggs fue sorprendente, pero interesante también, en cuanto que reveló algunos de los sentimientos de «hostilidad» hacia los emigrantes a los que me referí en el capítulo anterior: «Bien, ya sabe usted, estos temas son secretos y no creemos que ellos deberían ser incluidos».22 El asunto terminó, no obstante, arreglándose y tanto Szilard como Fermi asistieron a la reunión.23

John von Neumann informa sobre la energía nuclear

La excitación de los científicos norteamericanos crecía según pasaban los días. Buena muestra de ello es la carta que John von Neumann, que en la contienda que se avecinaba (y después) desempeñaría un destacado papel en la utilización de la ciencia en la guerra, escribía el 23 de marzo de 1940, esto es, prácticamente al mismo tiempo que se producían los anteriores movimientos, a Frank Aydelotte, entonces director del Institute for Advanced Study de Princeton (del que era, recordemos, miembro von Neumann):24

> El físico holandés P. Debye, que ha sido director del Instituto de Física de la Asociación Káiser Guillermo en Berlín (apoyado por la Fundación Rockefeller), ha sido enviado al extranjero por las autoridades alemanas para permitir así a su Instituto realizar

trabajos secretos para la guerra. Cuando nos reunimos para cenar el otro día, no ocultó el hecho de que su trabajo es esencialmente estudiar la fisión del uranio. Éste es un proceso nuclear explosivo que teóricamente puede generar 10.000 o 2.000.000 de veces más energía que el mismo peso de cualquier combustible o explosivo conocido. Existen depósitos considerables de uranio cerca de Joachimsthal, Bohemia, al igual que en Canadá. Está claro que las autoridades nazis esperan producir bien un terrible explosivo o una fuente de energía muy compacta y eficiente. Deduzco de los comentarios de Debye que han reunido en su Instituto a los mejores físicos teóricos y nucleares alemanes, incluyendo a Heisenberg, para esta investigación, a pesar del hecho de que la física teórica y nuclear, en general, y Heisenberg, en particular, estén bajo sospecha, al ser considerada la física nuclear, «física judía», y Heisenberg un «judío banco».

Existe una diferencia de opinión entre los físicos teóricos sobre la probabilidad de alcanzar resultados prácticos en una fecha próxima. Sin embargo, éste es un bien conocido estadio en la prehistoria de cualquier gran invento. La tremenda importancia de la utilización de la energía atómica, incluso si sólo tiene éxito en parte, sugiere que el asunto no se deje en las manos de los gángsteres europeos, especialmente en la presente coyuntura de la historia mundial.

Desde hace algún tiempo se está realizando trabajo del tipo que se supone están llevando a cabo los físicos alemanes en la Universidad de Columbia, bajo la dirección del profesor Fermi y del doctor Szilard, pero a un ritmo lento, debido a que el coste de los experimentos excede el presupuesto normal de un departamento. Se ha intentado, con un éxito relativo, recabar la ayuda del gobierno de Estados Unidos, pero este proceso es lento y complicado y han aparecido serios obstáculos. Nos parece, por consiguiente, que se podría llevar el problema a la atención de la Fundación Rockefeller, que estaría en situación de actuar de una manera simple y directa. No vamos a sugerir una forma concreta de atacar el problema, pero suponemos que si los responsables de la Fundación estuviesen interesados, consultarían con los físicos que están familiarizados con las cuestiones prácticas implicadas.

He citado al profesor Debye libremente al escribirle, pero obviamente deberíamos ser muy cautos al utilizar más su nombre. En cualquier caso, su único papel ha sido inintencionadamente animarnos a sacar a la luz una cuestión que hemos tenido en mente desde hace varios meses, sin saber

qué hacer si es que hacíamos algo.

Debye estaba entonces, efectivamente, en Estados Unidos, dando unas conferencias, pero se quedó definitivamente allí, en la Universidad de Cornell.

El Comité de Investigación para la Defensa Nacional y la energía nuclear

Una nueva fuerza apareció por entonces: Vannevar Bush (1890-1974) y el National Defense Research Committee (Comité de Investigación para la Defensa Nacional). Bush era bien conocido por sus contribuciones a la matemática aplicada y a la ingeniería eléctrica. Durante la Primera Guerra Mundial había trabajado en la detección de submarinos; en 1939 había dimitido de la vicepresidencia del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para convertirse en presidente de la Carnegie Institution de Washington. Pronto pasó de ser un mero miembro del National Advisory Committee for Aeronautics (Comité Asesor Nacional para Aeronáutica; NACA) a dirigirlo, y al ver los efectos de la guerra que se estaba desencadenando en Europa elaboró planes para un comité que se ocupara de coordinar los esfuerzos nacionales en investigación científica aplicada a la guerra. A principios de junio de 1940, cuando las divisiones alemanas se adentraban en Francia, Bush persuadió a Roosevelt para que le pusiera al frente de un National Defense Research Committee (NDRC), que fue creado oficialmente el 27 de junio, diez días después de la caída de Francia. Entre sus fines figuraba el de buscar nuevas formas de aplicar la ciencia a las necesidades de la guerra, pudiendo solicitar la ayuda de la National Academy of Sciences, del National Bureau of Standards y de otros laboratorios federales. El Comité del Uranio pasaba a depender de la nueva organización.

Al igual que ocurrió durante la Primera Guerra Mundial con instituciones similares creadas tanto en Gran

Bretaña como en Estados Unidos, la nueva organización resultó ser extremadamente útil para la guerra que, en el caso norteamericano, todavía estaba por llegar. La principal diferencia con 1914-1918, especialmente en el caso de Estados Unidos, es que el desarrollo interno de la ciencia había llegado a un punto en el que las posibles aplicaciones bélicas eran mucho más numerosas. Por otra parte, la ciencia como actividad, sus profesionales, sus organizaciones, los centros en los que realizaban sus tareas, todo esto había crecido también, y además enormemente. La distancia que separaba en 1940 a gobiernos, políticos y militares, de la ciencia y los científicos era mucho menor de lo que había sido varias décadas atrás; no es que no existiera alguna franja de separación, pero sí que era factible superarla sin demasiado esfuerzo. Además, existía ya una práctica probada, casi una tradición, de administradores de la ciencia —de nuevo más acusada en Estados Unidos, donde proliferaban centros de todo tipo: universidades (cada una un pequeño mundo), laboratorios industriales, fundaciones, instituciones federales, asociaciones, academias—. Bush era uno de estos administradores (o políticos de la ciencia, si se prefiere); especialmente hábil, pero había otros.

Dentro de la nueva organización, los trabajos en busca de una reacción en cadena comenzaron a avanzar con más decisión. En julio de 1940, los Departamentos de Guerra y de la Armada aprobaron un programa encaminado a separar los dos isótopos del uranio (el Naval Research Laboratory [Laboratorio de Investigación Naval] dispuso 100.000 dólares con este fin). Para la cuestión concreta de la reacción en cadena, el NDRC asignó en septiembre 40.000 dólares al grupo de Fermi en Columbia. El 1 de noviembre se utilizaba parte de este dinero (4.000 dólares) para poner en la nómina de la universidad neoyorquina a Szilard.

A partir de este momento se fue progresando, pero no demasiado rápidamente. El objetivo principal era la construcción de un reactor capaz de sostener una reacción

en cadena y encontrar un método para separar el isótopo U-235 del U-238 y así conseguir el suficiente uranio fisionable. Al fin y al cabo no había demasiados motivos para entrar en una carrera frenética. Todo un océano separaba a los norteamericanos de la guerra europea. No obstante, durante el primer trimestre de 1941 un pequeño, pero influyente, grupo de científicos estadounidenses llegó al convencimiento de que los acontecimientos en Europa requerían que se acelerase la investigación sobre el uranio. La principal figura de los que creían esto era nada más y nada menos que Ernest Lawrence, el rey de los ciclotrones.25

Los intereses de Lawrence no provenían únicamente de análisis políticos, sino también de los resultados que se estaban obteniendo en su laboratorio de Berkeley, ayudado por sus ciclotrones, donde se bombardeaba uranio con neutrones. Poco después de que las noticias del descubrimiento de la fisión llegasen a Berkeley, Edwin M. McMillan diseñó un experimento destinado a medir las energías de los productos de la fisión, encontrando una sustancia que no encajaba. En la primavera de 1940 McMillan y Philip Abelson confirmaron mediante análisis químicos que se trataba de un nuevo elemento, el que ocupa el lugar 93 de la tabla periódica, al que se le dio el nombre de neptunio. Pronto se sospechó que este nuevo elemento se desintegraría dando origen a un isótopo de otro nuevo elemento, el 94. En diciembre de 1940, otro científico de Berkeley, el químico Glenn T. Seaborg, en colaboración con algunos ayudantes suyos, produjo ese isótopo, que poco después, en febrero de 1941, demostraban que era, efectivamente, un nuevo elemento, el plutonio.26 Ahora bien, estos descubrimientos eran relevantes para el programa de investigación encaminado a explotar la fisión, ya que parecía probable que el plutonio fuese fisionable con neutrones lentos; al menos así lo habían previsto Halban y Kowarski en Cambridge, adonde habían llegado desde París huyendo de los alemanes (Joliot-Curie había decidido quedarse, colaborando con la

resistencia). Y si era fisionable, esto quería decir que se podía utilizar casi todo lo que se producía en una pila (reactor) de uranio natural, ya que la teoría predecía que los neutrones emitidos por el U-235 convertirían al U-238 en plutonio, que a su vez podría fisionar con neutrones lentos. En otras palabras: tal vez se podría obtener plutonio en una pila nuclear y separarlo luego mediante métodos químicos. Así se tendría un nuevo elemento tan fisionable como el U-235, pero obtenible sin tanta dificultad como éste. La segunda bomba atómica, la lanzada sobre Nagasaki, una bomba de plutonio, testifica que la idea era correcta.

Las presiones de los físicos nucleares, el desarrollo interno de la disciplina y las noticias que llegaban de Europa impulsaron los trabajos del Comité del Uranio. Su director, Briggs, que hasta entonces apenas convocaba al Comité, propuso un presupuesto más grande (167.000 dólares) —que Columbia, Chicago y Princeton acapararon en su mayor parte— para investigar la reacción en cadena, y 120.000 para la separación de isótopos, más 8.000 para estudiar el plutonio como elemento fisionable.

El 28 de junio de 1941, aproximadamente medio año antes de que Estados Unidos entrase en la guerra (lo hizo en diciembre), Roosevelt fundaba una nueva agencia, la Office of Scientific Research and Development (Oficina de Investigación y Desarrollo Científico; OSRD), a la que se dio autoridad sobre todos los trabajos científicos de defensa. La creación de esta nueva agencia significaba que la NDRC veía recortadas sus competencias puesto que pasaba a depender de aquélla, pero no ocurría lo mismo con el poder de Bush, que pasó a dirigir la Oficina (James B. Conant, el químico presidente de Harvard, fue nombrado director del NDRC).

Mientras todos estos acontecimientos tenían lugar en Estados Unidos, los físicos residentes en Gran Bretaña no permanecían inactivos.

Los esfuerzos nucleares británicos

Un día, de febrero o marzo de 1940, en Inglaterra, Otto Frisch dijo a Rudolf Peierls, un emigrado de Alemania como él (ambos estaban entonces asociados a la Universidad de Birmingham): «Imagínate que alguien te da una cantidad de isótopo puro 235 de uranio ¿qué sucedería?».[27] Para intentar contestar a aquella pregunta unieron sus fuerzas, abordando en primer lugar la cuestión, básica, de la masa crítica de uranio necesaria para que pudiera tener lugar una reacción en cadena. Y es que para conseguir una verdadera explosión se requiere que la reacción en cadena se desarrolle de una manera extremadamente rápida (lo que a su vez depende de la masa de uranio disponible); de lo contrario, sólo se utilizará una pequeña cantidad de energía nuclear antes de que la bomba se rompa en pedazos interrumpiendo la reacción (también se necesita que no se produzca una explosión parcial prematura).

Hasta entonces se había estado suponiendo que se necesitarían toneladas de uranio para lograr una masa crítica, pero, para sorpresa de Frisch y Peierls encontraron que bastaba con alrededor de medio kilo. Fue una estimación algo baja, porque desconocían algunos efectos, pero del orden de magnitud adecuado.[28]

La segunda cuestión que se debía considerar era lo lejos que habría ido la reacción en cadena (cuánto se habría desarrollado) antes de que la propia presión generada dispersara el uranio. Un rápido cálculo les mostró que una parte sustancial del uranio se habría fisionado antes de la dispersión y que, por consiguiente, la energía emitida sería equivalente a miles de toneladas de explosivos ordinarios. Otro resultado importante si se deseaba construir una bomba atómica.

Al igual que Szilard, estos dos físicos exiliados temían que sus colegas en Alemania pudiesen estar trabajando ya en semejante dirección; al fin y al cabo conocían muy bien sus habilidades. En consecuencia, Frisch y Peierls compusieron un documento dividido en dos partes, una, técnica, en la que presentaban su trabajo, y otra no técnica. Ellos mismos mecanografiaron el manuscrito, no fiándose

de ninguna secretaria. A través de algunos compañeros hicieron llegar su informe a un comité que se había formado para estudiar la posibilidad de una reacción en cadena, y que, de hecho, estaba a punto de disolverse.[29] Su documento no sólo evitó la disolución, sino que hizo que sus actividades se ampliasen, reorganizándose poco después con un pequeño comité político y un subcomité técnico, del que los propios Frisch y Peierls formaban parte.[30] Este grupo terminó llamándose Comité M.A.U.D., siglas que realmente no escondían ninguna clave, no querían decir nada; habían surgido de una equivocación.[31] Amparándose en esta estructura, comenzaron en Gran Bretaña, en laboratorios de distintas universidades, los trabajos destinados a la posible construcción de una bomba atómica, o al menos a demostrar su posibilidad.[32]

En julio de 1941 el Comité MAUD preparó su informe final, escrito en su mayor parte por George P. Thomson y James Chadwick.[33] El primer autor trataba sobre la utilización del uranio para producir una bomba y el segundo examinaba el papel del uranio como fuente energética. En conjunto, el documento resumía los trabajos que durante quince meses habían realizado grupos en Birmingham, Cambridge, Liverpool, Londres (King's College e Imperial College), Oxford y en Imperial Chemical Industries (ICI). Expresado de manera atrevida, el informe señalaba que Halban y Kowarski habían demostrado en Cambridge que era casi seguro que se produjese una reacción en cadena en un sistema del tamaño adecuado (masa crítica) compuesto de óxido de uranio o de metal de uranio, con agua pesada como moderador. En Cambridge, Egon Bretscher y Norman Feather habían predicho que tal sistema produciría plutonio, pero la posibilidad de una bomba de plutonio apenas se había adivinado. Para poder construir la bomba se necesitaba, por supuesto, conocer con precisión las secciones eficaces de las reacciones nucleares que tenían lugar, cuestión esta de la que se había ocupado el grupo de Liverpool, que, como el Cavendish, disponía de un ciclotrón.[34] También se habían ocupado los británicos

de la separación de los isótopos de uranio, diseñando Fritz Simon (otro refugiado alemán, especialista en termodinámica y bajas temperaturas) una planta piloto de difusión gaseosa en Oxford.[35] Por último, Birmingham y los químicos de ICI estaban preparando uranio metálico y hexafluoruro de uranio de la suficiente pureza para la planta de difusión.

El siguiente paso fue ampliar la infraestructura que cubría las operaciones relativas al proyecto nuclear británico. Tal organización —ahora bajo la jurisdicción de un viejo conocido nuestro, el DSIR— fue denominada *Tube alloys* (Aleaciones de tubos), que, de nuevo, no quería decir nada, aunque sonase, como se pretendía, a una organización muy práctica y aburrida. Peierls, Halban y Simon figuraban entre los miembros del Comité técnico. A la primera reunión del nuevo Comité, celebrada a finales de 1941, asistieron dos americanos, el químico y descubridor del deuterio (también separó agua pesada del agua ordinaria) Harold Urey y G. B. Pegram, físico nuclear en Columbia. Era la primera vez que científicos norteamericanos iban a Gran Bretaña por asuntos relacionados específicamente con la fisión del uranio.[36] Ambos quedaron impresionados por la seriedad del proyecto británico, y la memoria que prepararon, junto a la lectura del informe MAUD y a la entrada de Estados Unidos en la guerra galvanizaron a los americanos. En palabras de Margaret Gowing, la historiadora más distinguida del proyecto nuclear británico:[37] «Fue el Informe MAUD lo que puso a los americanos en acción y apenas hay duda de que sin el trabajo británico la Segunda Guerra Mundial habría terminado antes de que se hubiera lanzado una bomba atómica».

El conocimiento de los progresos realizados en Gran Bretaña hizo, en efecto, que los norteamericanos prestasen más atención a la posibilidad de fabricar una bomba atómica. Aunque, como hemos visto, habían tenido lugar importantes avances en el campo de la física nuclear en Estados Unidos, salvo en unos pocos casos el énfasis estaba

en los aspectos científicos relacionados con la producción de energía controlada (reactor nuclear), cuando no simplemente en los problemas científicos que surgían independientemente de cualquier posible consideración energética práctica. Esta situación se puede explicar de diferentes maneras: por un lado en el hecho de que Estados Unidos todavía no había entrado en la guerra, lo que hacía que la cuestión de fabricación de bombas no fuera un problema inmediato; en segundo lugar por la propia intensidad del desarrollo científico que estaba teniendo lugar en Norteamérica en el dominio de la física nuclear. Como había ocurrido no hacía mucho con los matemáticos, que al ir progresando institucional y profesionalmente habían centrado sus intereses en la matemática pura, desdeñando hasta cierto punto la aplicada,[38] la mayoría de los físicos nucleares estadounidenses (incluyendo los inmigrantes) estaban al principio más interesados en los aspectos fundamentales de su disciplina que en los aplicados. Gran Bretaña, por el contrario, no sólo estaba inmersa de lleno en la guerra, en la que se veía sometida a un gran peligro, sino que disponía de una tradición, precisamente en física atómica y nuclear, que le permitía ver las cosas desde otra perspectiva. En cualquier caso, disponía de la suficiente mano de obra cualificada como para que no resulte sorprendente que, tras el empuje dado por el informe de Peierls y Frisch, avanzase como lo hizo. Tal vez no sería inapropiado decir que la sombra de Rutherford era alargada, lo suficiente como para que a su amparo floreciesen científicos experimentales de la talla de Cockcroft, Chadwick, Oliphant, Walton, Blackett, Ellis o Feather.

A finales de 1941 Gran Bretaña estaba más adelantada, en lo que a la construcción de una bomba atómica se refiere, que Estados Unidos. Conscientes de esta situación, e interesados ya plenamente en el proyecto, los americanos buscaron la colaboración británica. El 11 de octubre (1941), el presidente Roosevelt tomó la iniciativa de escribir a Churchill:[39] «Parece deseable que deberíamos

escribirnos o conversar sobre un tema que está siendo estudiado por su comité MAUD, y por la organización del Dr. Bush en este país, para que cualquier esfuerzo importante pueda ser coordinado o incluso desarrollado conjuntamente. Sugiero que para identificación nos refiramos al tema como MAYSON».

Churchill no se apresuró a contestar. Esperó hasta diciembre, ofreciéndose entonces a colaborar.[40] Sin embargo, y a pesar de que a principios de 1942 comenzaron de manera efectiva los intercambios de información, durante algún tiempo algunas de las comunicaciones de los británicos a los norteamericanos mostraban un claro sentimiento de superioridad.

El 7 de diciembre, Japón atacaba Pearl Harbour y Estados Unidos entraba en la guerra. A partir de entonces, todo cambió. En seis meses, la nación norteamericana había superado ampliamente los conocimientos nucleares de su aliado británico. Y así, pronto las dificultades encontradas, el interés mostrado, provinieron básicamente del lado británico, con Churchill insistiendo ante Roosevelt, primero, y Truman, después, en mantener la colaboración.

En la Tercera Conferencia de Washington (TRIDENT) entre Roosevelt y Churchill, celebrada en mayo de 1943, ambos gobernantes hablaron del proyecto nuclear; de hecho este tema fue, considerado retrospectivamente, el más importante que trataron, aunque pasase prácticamente desapercibido en las notas oficiales.[41] Un cierto número de consejeros de Roosevelt —en particular Vannevar Bush— se oponían a que Estados Unidos compartiese con Gran Bretaña su conocimiento nuclear.[42] Argumentando que los británicos querían únicamente explotar la energía nuclear por su valor económico (comercial) en la posguerra, Bush quería restringir de manera radical la información que se les diese, llegando a prohibir, de hecho, el intercambio de información. Churchill había protestado a Harry Hopkins, amigo y confidente de Roosevelt, a través de un cable, el 27 de febrero de 1943, señalando que ellos habían compartido sus conocimientos y que esperaban igual tratamiento. En la

conferencia de Washington volvió a sacar el tema. A falta de informes escritos, lo único seguro es que Roosevelt prometió a Churchill compartir totalmente los datos. El 20 de junio, después de consultarlo con Hopkins, el presidente dio instrucciones a sus subordinados para que se «renovase... el intercambio completo de información con el gobierno británico». Pero a pesar de esto, el 9 de julio de 1943, Churchill todavía insistía ante Roosevelt:[43]

> Antigua persona naval al presidente Roosevelt, personal y muy secreta.[44]
>
> Desde el telegrama de Harry del 17 de junio he estado esperando ansiosamente más noticias acerca de TUBE ALLOYS. Mis expertos están preparados y encuentro cada vez más difícil entender el retraso. Si han surgido dificultades, le ruego que me comunique inmediatamente cuáles son, en caso de que podamos ayudar en resolverlas.

Roosevelt contestó finalmente en 26 de julio, reafirmando la colaboración.[45] La versión final del acuerdo anglo-americano para una colaboración completa en la investigación nuclear se firmó el 19 de agosto (también participaba Canadá).

El Proyecto Manhattan

En una reunión de la sección del Uranio (conocida como S-1) de la OSRD, celebrada el 6 de diciembre de 1941 (esto es, un día antes de Pearl Harbour), Conant, hablando en representación de Bush, anunció un esfuerzo «total» para fabricar la bomba. Al mismo tiempo se reorganizaba la sección, que seguía presidida por Briggs, siendo Pegram vicepresidente y Arthur H. Compton, Lawrence y Urey jefes de programación encargados de los aspectos científicos. Urey se encargó de la separación de isótopos empleando métodos de difusión y de centrifugación, así como de la producción de agua pesada. Lawrence de la producción inicial de pequeñas muestras de elementos fisionables, del método electromagnético de separación de isótopos y de

ciertos trabajos experimentales relacionados con las propiedades del núcleo de plutonio. Por su parte, Compton fue encargado de dirigir los estudios físicos básicos de la reacción en cadena, siendo además autorizado a explorar la posibilidad de producir plutonio en cantidades útiles utilizando reacciones en cadena controladas. En enero de 1942, Compton organizó las investigaciones en curso en Chicago bajo el nombre (destinado, obviamente, a confundir) de «Laboratorio Metalúrgico», contratando más personal.[46] También supervisó los trabajos de otros laboratorios, incluyendo la pila de grafito y neutrones lentos de Fermi en la Universidad de Columbia, en Nueva York, que más tarde se trasladó a Chicago (donde se concentraron estos trabajos), y las investigaciones de reacciones con neutrones rápidos para su posible aplicación a explosivos que, bajo la dirección de Gregory Breit, se estaban llevando a cabo en varios lugares. Fue allí, el 2 de diciembre de 1942, en la denominada «Chicago Pile One» (Pila Uno de Chicago), cuya construcción se había iniciado el 16 de noviembre, cuando el equipo dirigido por Fermi logró la primera reacción en cadena controlada y autosuficiente (producía suficiente energía como para mantenerse en funcionamiento) de la historia. Se la dejó funcionar cuatro minutos y medio.

Continuando con este proceso, cada vez más acelerado, de reorganización, el 18 de junio el coronel James C. Marshall, del Cuerpo de Ingenieros, recibió órdenes para que formase una nueva dependencia en su Cuerpo destinada a proseguir un trabajo especial (la fabricación de bombas atómicas). La dependencia, que fue crea da oficialmente el 13 de agosto, fue denominada «Manhattan Engineer District» (Distrito de Ingeniería de Manhattan), ya que Marshall había instalado su cuartel general en Nueva York, en Manhattan. Por razones de seguridad, el trabajo del que se ocupaba se denominó «Proyecto DSM» (las siglas de «Development of Substitute Materials» [De sa rro llo de Materiales Sustitutivos]). Se trataba, por supuesto, de lo que se vendría a conocer como, simplemente, «Proyecto

Manhattan», a cuyo frente se puso el 17 de septiembre a un oficial extremadamente capacitado del Cuerpo de Ingenieros, el, entonces, coronel (más tarde general) Leslie R. Groves (1896-1970), cuyo nombre quedaría unido permanentemente al proyecto atómico norteamericano.[47]

La historia de este proyecto me llevaría demasiado lejos y, además, es, aunque sea de manera rudimentaria, bastante conocida.[48] Me limitaré, por consiguiente, a mencionar unos pocos puntos de especial interés.

En primer lugar es importante señalar que con la asignación del Proyecto DSM al Cuerpo de Ingenieros del ejército estadounidense se estaba dando un paso, cuyas consecuencias —no apreciadas real men te en aquel momento— marcarían el de sa rro llo de la ciencia de la posguerra y, más indirectamente, la historia sociopolítica mundial de los años cincuenta en adelante. Expresado brevemente: la sociedad civil estaba cediendo la soberanía de la ciencia a las Fuerzas Armadas. Es cierto que en principio tal cesión se suponía temporal, mientras las condiciones excepcionales de la contienda se mantuviesen, pero a la postre, como veremos, los militares percibieron —por fin— con toda claridad que la ciencia (especialmente las ciencias físicas, y dentro de ellas la electrónica) de mediados de siglo contenía unas potencialidades y realidades que la hacían absolutamente imprescindible para el desarrollo de su misión: estar preparados en las mejores condiciones posibles para la guerra. Una guerra, además, que de tener lugar probablemente se desarrollaría en o partiría de (caso de ataques soviéticos con misiles de cabezas nucleares) escenarios lo suficientemente alejados del territorio nacional de Estados Unidos como para que fuese necesario poseer los medios electrónicos adecuados para salvar semejantes distancias. En consecuencia, aquella cesión terminó siendo más permanente de lo que se había supuesto. En este sentido, la creación del Manhattan Engineer District significó un momento crucial en la historia de la ciencia contemporánea y, por consiguiente, también en la propia historia general.

En capítulos anteriores ya nos hemos encontrado con ejemplos de la *Gran Ciencia*; la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft, el Physikalisch-Technische Reichsanstalt, o los ciclotrones construidos bajo el impulso de Ernest Lawrence en Berkeley, son los ejemplos más claros de este nuevo tipo de organización científica. El Proyecto Manhattan constituyó un nuevo paso en esa dirección. Según se avanzaba, iba quedando clara la envergadura del proyecto. No se necesitaba sólo capacidad científica, sino también industrial y tecnológica, además de la cobertura militar, que suministraba una organización e infraestructura esenciales. Como ya comenzamos a percibir cuando me referí a que Compton, Lawrence y Urey fueron nombrados jefes de programación, hubo que crear diversos grupos de trabajo.[49] Estaba, por supuesto, el Laboratorio Metalúrgico de Chicago, en cuyo reactor, que contenía casi 400 toneladas de grafito, 6 toneladas de uranio metálico y 58 toneladas de óxido de uranio y que Fermi supervisaba, tuvo lugar, como acabo de señalar, la primera reacción en cadena autosostenida de la historia. También el Radiation Laboratory de Lawrence en Berkeley. Por otra parte, la Westinghouse Electric and Manufacturing Co. se ocupaba de la producción de uranio metálico, y la Mellinckrodt Chemical Works de San Luis, ayudada por el National Bureau of Standards, de preparar óxido de uranio. El proceso que la Westinghouse estaba empleando para producir el metal era la electrólisis del $K\ U\ F_5$, al costo de unos 1.000 dólares por libra. Como el $K\ U\ F_5$ era producido fotoquímicamente bajo la acción de la luz solar, este método constituía de hecho un freno para la producción. Se encontró entonces que se podía utilizar el tetrafluoruro de uranio en lugar del $K\ U\ F_5$, así que se encargó su producción a Harshaw Chemical Co. de Cleveland y a la fábrica que Du Pont tenía en Penns Grove, New Jersey. De la producción de grafito de gran pureza se encargaban la National Carbon Co. y la Speer Carbon Co., siguiendo las sugerencias de los técnicos del National Bureau of Standards. En los estudios, ya mencionados, de reacciones

con neutrones rápidos dirigidos por Breit participaron investigadores del Instituto Carnegie de Washington, National Bureau of Standards, Rice Institute, y de las Universidades de Cornell, Purdue, Chicago, Minnesota, Wisconsin, California, Stanford e Indiana. Y en otras tareas intervinieron científicos de las universidades de, por ejemplo, Virginia, Brown y Yale, y centros como el Instituto de Investigación Médica Rockefeller y Iowa State College. La compañía M. W. Kellogg se ocupó de estudiar el proceso de difusión gaseosa para poder diseñar una planta piloto. Para desarrollar métodos de producción de plutonio se construyó, con la participación de la Stone and Webster Engineering Corporation y de Du Pont, una planta en Oak Ridge, Tennessee, conocida como Clinton Engineering Works. Empezó a funcionar el 4 de noviembre de 1943. Para producción en gran escala del plutonio se edificó otra sobre el río Columbia, en Hanford, en la parte central del estado de Washington; de forma análoga al caso de Clinton, fue conocida como Hanford Engineer Works. También hubo que investigar sobre problemas de corrosión, refrigeración, blindaje, protección, o las consecuencias biomédicas, cuestiones estas en las que participaron numerosas empresas y universidades.

Por último, estaba Los Álamos, el lugar en donde se abordó el problema de utilizar todos los materiales, dispositivos y conocimientos obtenidos en centros como los que acabo de señalar, para fabricar realmente la bomba atómica, la meta final de aquellos trabajos preliminares. Entre las tareas iniciales del Laboratorio Metalúrgico de Chicago figuraba la de realizar un estudio previo de la física de la bomba atómica. Algunos de estos estudios fueron efectuados en 1941, pero, naturalmente, eran bastante incompletos. Al fin y al cabo la urgencia de estas investigaciones no era tanta, puesto que la verdadera construcción de la bomba constituiría la parte final del programa. Fue a mediados de 1942 cuando se organizó un grupo con tal fin en Chicago, bajo la dirección de Robert Oppenheimer (1904-1967), un neoyorquino de ascendencia

judía que estudió física y química en Harvard, licenciándose en sólo tres años. Una vez graduado se trasladó a Europa, justo en los años en que en el Viejo Continente se acababa de alumbrar la mecánica cuántica, una teoría que no sólo cambiaría la física sino también el mundo. Permaneció allí cuatro años, estudiando con Rutherford (Cambridge), Born (Gotinga), bajo cuya dirección se doctoró, Ehrenfest (Leiden) y Pauli (Zúrich). Dada su importancia, me detendré un momento en su biografía.

De regreso a Estados Unidos, Oppenheimer compartió puestos docentes en la Universidad de Berkeley y el Instituto Tecnológico de California. La década de los treinta y comienzos de los cuarenta fue, desde el punto de vista científico, la mejor época de su vida. Durante esos años, Oppenheimer —*Oppie*, para sus colegas— produjo magníficos trabajos en electrodinámica cuántica, física nuclear y de altas energías, y astrofísica. Fue, de hecho, uno de los que más hizo por introducir la física cuántica en Estados Unidos, donde llegaría a prosperar con una fuerza de la que careció en Europa, exhausta después de nutrir manantiales de odio y muerte. En ciencia, Oppenheimer fue un hombre de su tiempo. Pero también lo fue en el plano sociopolítico, en el que sus simpatías se inclinaron, en aquellos años, hacia la izquierda. Participó activamente en varios comités para ayudar a la República española durante la guerra civil y frecuentó la compañía de organizaciones comunistas (su hermano Frank fue durante algún tiempo miembro del Partido, y él se casó con la viuda de un comunista que murió mientras combatía en España). Sin embargo, nunca se demostró que hubiese sido miembro del Partido.

Era inteligente, brillante, culto, atractivo, rico, además de altanero y orgulloso. En Berkeley, donde Ernest Lawrence estaba creando la física de altas energías, con sus cada vez más grandes aceleradores de partículas, sus habilidades como teórico resultaban indispensables. No es sorprendente, por tanto, que el general Leslie Groves —que no ignoraba las relaciones que Oppenheimer había

mantenido con organizaciones de izquierdas— lo eligiese para dirigir el laboratorio de Los Álamos, la última pieza del Proyecto Manhattan.

Y tuvo éxito, aunque para ello fueron necesarios no sólo sus conocimientos científicos, sino también una gran capacidad organizativa y habilidad para manejar lo que seguramente constituyó la mayor concentración de la historia de *prima donnas* científicas. En este sentido fue un pionero de lo que después llegaría a ser frecuente: científicos eminentes que a partir de un cierto momento se convierten en organizadores, en «empresarios de la ciencia», con las inevitables consecuencias que ello conlleva en sus propias investigaciones. Un somero vistazo a la lista de publicaciones de Oppenheimer muestra que desde 1926 hasta 1942 escribió 64 artículos, ninguno entre ese último año y 1945, y únicamente 5 a partir de 1946. La *Gran Ciencia*, la ciencia que reúne en proyectos de investigación centenares de científicos y técnicos y que requiere enormes recursos económicos, la ciencia que cuenta entre sus elementos, además de los puramente científicos otros relacionados con la política, la industria y la economía, necesita a Oppenheimer. Pero volvamos al Proyecto Manhattan.

En el verano de 1942, Oppenheimer organizó un encuentro en Berkeley para explorar los aspectos teóricos de las explosiones nucleares; entre los participantes se encontraban Hans Bethe, John van Vleck, Edward Teller, Robert Serber y Felix Bloch. En noviembre de 1942 se eligió un lugar, Los Álamos, en Nuevo México, a unos 48 kilómetros de Santa Fe, para instalar en él el laboratorio de la bomba atómica propiamente dicho. La mayor ventaja de este lugar, al que sólo se podía llegar a través de un tortuoso camino, era disponer de una extensión de territorio considerable para posibles pruebas. Oppenheimer fue el director del laboratorio desde el comienzo, laboratorio, por cierto, que se adjudicó a la Universidad de California. Oppie llegó a Los Álamos en marzo de 1943 y a continuación aparecieron grupos, personas y aparatos de

numerosas universidades, formando el conjunto de científicos trabajando en colaboración más impresionante de toda la historia de la ciencia anterior. Entre los que estaban o pasaban por Los Álamos se encontraban John von Neumann, Niels Bohr, Richard Feynman, Bethe, Fermi, Teller, Emilio Segré, Victor Weisskopf, Luis Alvarez, Edwin McMillan, I. I. Rabi, Richard Tolman, Lawrence, Compton, Edward Condon, Norman Ramsey o Stanislaw Ulam.

Una manera de apreciar las dimensiones del Proyecto Manhattan es mirar el dinero que se necesitó para poder llevarlo adelante. Veamos las cifras correspondientes.

GASTOS TOTALES EN EL PROYECTO MANHATTAN[50]
(agosto 1942-diciembre de 1946)
(en millones de dólares)
1942
1943
1944
1945
1946
Total

(Es interesante señalar que de estos gastos a los trabajos de Los Álamos le correspondieron —hasta el 31 de diciembre de 1945— 74 millones de dólares. En absoluto fue el apartado más oneroso del Proyecto Manhattan. En la misma fecha, los gastos de la planta de difusión gaseosa habían sido de 511 millones, mientras que a la planta electromagnética le correspondían 477 millones, y a los Clinton Engineer Works, 390 millones.)

Asombra la decisión e iniciativas con que se dirigió el proyecto. En casi todos los puntos era más lo que se desconocía que lo que se sabía. Además, había que proceder en muchos aspectos antes de disponer de elementos imprescindibles (las bombas se lanzaron casi inmediatamente después de poseer el uranio y plutonio necesarios). Para minimizar los riesgos se seguían vías alternativas. Gracias a este procedimiento se pudieron solventar momentos críticos. Como cuando, en la primavera

de 1944, un pequeño grupo de Los Álamos, dirigido por Emilio Segré, descubrió, con las primeras muestras de plutonio-239 recibidas, que este isótopo se fisionaba de manera espontánea, de tal forma que el procedimiento diseñado para conseguir la masa crítica (lanzar, utilizando explosivos, dos masas de plutonio —o de uranio— una contra otra, para alcanzar a la masa crítica) era excesivamente lento.[51] Antes de que las dos masas se juntaran, la fisión espontánea habría hecho estallar la bomba de plutonio. Afortunadamente, esta posibilidad se había considerado, aunque tímidamente. No hubo que comenzar desde cero, y se pudo, dentro de los límites de tiempo manejados, desarrollar un nuevo método, más rápido, de llegar a la masa crítica: el de implosión. La prueba —denominada Trinity— que se llevó a cabo en las primeras horas de la mañana del 16 de julio de 1945, en las desiertas tierras del Jornado del Muerto, cerca de Alamogordo, en Nuevo México, fue, precisamente, de la bomba de plutonio, para comprobar si la nueva «espoleta» funcionaba satisfactoriamente. La bomba de uranio (con su «espoleta de choque») era mucho más segura, y no se creyó necesario probarla. Hiroshima fue la prueba.

Hiroshima y Nagasaki

Cuando, en la primavera de 1944, Groves se sintió confiado de que tendrían éxito, se dirigió al general H. H. Arnold, el principal responsable de la Fuerza Aérea estadounidense, para que le proporcionara bombarderos y todo aquello que necesitase para poder lanzar bombas atómicas. Se trataba de que tampoco en este aspecto se dejase nada a la improvisación.

A pesar de la gran demanda existente en el Pacífico, Arnold puso a disposición de Groves un escuadrón de los bombarderos más grandes de que disponía Estados Unidos: los B-29. Desde que en octubre llegaron los aviones, se ensayó con los tres tipos de modelos para carcasas de las bombas que se manejaban. El Grupo de Balística de Los

Álamos se dedicó a investigar acerca de los problemas relativos a la seguridad de la tripulación; cuestiones como la onda de choque que podían resistir los B-29 o la maniobra que llevaría al avión a la mayor distancia posible de la detonación atómica (que debía tener lugar, para ser más eficaz, antes de llegar al suelo). Otro punto crucial era elegir el objetivo. O los objetivos.

En reuniones celebradas en abril y mayo de 1945, un Comité de Objetivos, del que formaban militares y científicos (como Oppenheimer y von Neumann), seleccionó inicialmente cuatro blancos: Kioto, Hiroshima, Yokohama y el arsenal de Kokura, añadiendo Niigata como reserva. Muchas y variadas fueron las consideraciones que se manejaron a la hora de efectuar esta selección.[52] Por una parte, se deseaba lanzar las bombas sobre ciudades —no centros industriales, demasiado pequeños y dispersos— que todavía no estuviesen muy dañadas por bombardeos previos (de Tokio prácticamente solamente quedaba en pie el palacio imperial). También se manejaba inicialmente la idea de que el objetivo afectase lo más posible a la moral de los japoneses. Asimismo, se pretendía que, en palabras de Groves, «el primer blanco fuese de un tamaño tal que el daño quedase confinado dentro de él, de manera que pudiésemos determinar claramente el poder de la bomba».[53] Otra restricción era que las bombas deberían ser lanzadas visualmente, no ayudándose del radar; había que reducir lo más posible las posibilidades de perder un «envío» tan valioso. Era conveniente, además, dirigir la bomba hacia el centro de la ciudad, no a las afueras, donde todo estaba más repartido y menos localizable. Salvando los anteriores requisitos, el objetivo debía tener algún significado militar. El 28 de mayo se decidía que los objetivos debían ser (por este orden): Kioto, la antigua capital imperial, Hiroshima y Niigata. Finalmente, se prescindió de Kioto. Sus numerosos tesoros artísticos y lo que significaba para Japón podía producir un excesivo resentimiento entre los japoneses, inclinándolos, en la difícil posguerra que se avecinaba, hacia los soviéticos.

Como alternativa se introdujeron Nagasaki y Kokura.

Una pregunta fundamental es si Estados Unidos estaba completamente decidido a utilizar las bombas atómicas. «Cuando comenzamos a desarrollar la energía atómica», escribió Groves en sus memorias, «los Estados Unidos no estaban en absolutos decididos a emplear armas atómicas contra ningún otro poder. Sin embargo, con la activación del Proyecto Manhattan la situación empezó a cambiar. Nuestro trabajo fue extremadamente costoso, tanto en dinero [2.000 millones de dólares] como en interferencias con el resto del esfuerzo bélico. Según pasaba el tiempo, al ir invirtiendo más y más dinero y esfuerzos en el proyecto, el gobierno se convenció cada vez más de que era necesario utilizar la bomba... Como lo expresó sucintamente Mr. Stimson [secretario de Estado], el Proyecto Manhattan existía "para llevar la guerra a un final feliz más rápidamente de lo que se podría con otros medios y así salvar vidas americanas".»[54]

Este argumento, el de «salvar vidas» de soldados estadounidenses, ha sido empleado con profusión tradicionalmente por el lado norteamericano para justificar que Truman ordenase lanzar las bombas. Según esta historia, los dirigentes de Estados Unidos manejaban la cifra de medio millón de vidas salvadas. La apertura de archivos ha mostrado, sin embargo, que los cálculos militares daban ya entonces la cifra de 50.000.

Estaba también el temor a los soviéticos, hasta el punto que se ha llegado a afirmar que las bombas atómicas se lanzaron más contra la Unión Soviética que contra Japón. Un problema importante es que en la conferencia de Yalta (febrero de 1945), Roosevelt y Churchill, deseosos de obtener la ayuda soviética contra Japón, habían cedido ante las demandas de Stalin, que se comprometió a entrar en la guerra entre dos y tres meses después de la derrota de Alemania. La disponibilidad de la bomba, y la creciente percepción del «peligro rojo», modificaba radicalmente la situación. Ahora Estados Unidos veía la posibilidad de que la guerra terminase antes de que la Unión Soviética entrase

en la guerra, con lo que habría argumentos para negar a Stalin lo prometido en Yalta. Era, por consiguiente, urgente lanzar las bombas atómicas. Similar urgencia, pero por motivos completamente diferentes, surgía en los soviéticos. De hecho, Stalin firmó el 7 de agosto —el día después de Hiroshima—, la orden para que el Ejército Rojo atacase a las fuerzas japonesas en Manchuria el día 9.

Junto a estos argumentos políticos, también se encuentran otros más primarios. Argumentos, o, mejor, sentimientos, del tipo de los que empleó Truman, pocos días después de los bombardeos a Hiroshima y Nagasaki, en una carta al Consejo Federal de Iglesias de Cristo, en la que intentaba justificar el lanzamiento de las bombas en los términos siguientes:55 «Me sentí muy perturbado por el injustificado ataque de los japoneses a Pearl Harbour y el asesinato de nuestros prisioneros de guerra. El único idioma que parecen entender es el que hemos estado utilizando con los bombardeos. Cuando se tiene que tratar con una bestia, hay que tratarla como tal».

Fuese por una u otra razón, el hecho innegable es que el 6 de agosto un bombardero B-29 estadounidense —el famoso *Enola Gay*— despegaba de la isla de Tinian con una carga mortífera, que lanzó sobre Hiroshima a las 8.15, hora local. Se trataba de *Little boy*, una bomba atómica de uranio, de unos 4.500 kilogramos de peso y unas 13.000 toneladas de TNT de potencia. Su efecto fue terrible. Virtualmente todo en un radio de 500 metros de la explosión fue incinerado. Los edificios situados hasta 3 kilómetros de distancia, destruidos. Un espeso hongo de humo ascendió hasta 12 kilómetros de altura. A fines de año se estimaba el número de víctimas en 145.000 personas. Muchos otros llevaban, en forma de radiación, la muerte en su seno. Cinco años más tarde, los muertos sumaban 200.000.

Tres días más tarde (11.02 hora local) le tocaba el turno a una bomba de plutonio: *Fat man*. Pesaba algo más que *Little boy*, unos 5.000 kilogramos, pero tenía la misma potencia. Su objetivo fue Nagasaki. Las víctimas fueron

70.000, menos que en Hiroshima debido a errores en el lanzamiento.

En Tokio la reacción inicial ante la bomba de Hiroshima fue de confusión. Hasta el día siguiente no empezó a quedar claro que la destrucción de la ciudad había sido producto de una única bomba. Las dudas que todavía quedaban en algunos medios desaparecieron completamente el día 9, con la bomba de Nagasaki. Surgió entonces un ácido debate en el gobierno sobre los términos en que Japón debía rendirse. El partido favorable a la paz solamente insistía en que se salvaguardasen las prerrogativas del emperador, mientras que los militaristas añadían otras condiciones. En la mañana del 10 de agosto, el emperador, en una iniciativa sin precedentes, se inclinó por la postura de los pacifistas. Su decisión se comunicó inmediatamente a los Aliados, pero éstos insistieron en que también el emperador debía estar sujeto a la autoridad del comandante en jefe de los aliados. El 14, el emperador decidía aceptar estos términos y el 16 se ordenaba a las tropas japonesas que depusieran las armas.

Con la rendición de Japón terminaba la Segunda Guerra Mundial, una guerra ya ganada en realidad por entonces. Pero si una puerta (problema) se cerraba, otra se abría. La disponibilidad de armamento atómico condicionaría en lo sucesivo las relaciones políticas internacionales entre las grandes potencias, lo que es tanto como decir que la vida en una gran parte del planeta se vería afectada. La ciencia, sin la cual no se habría podido crear semejante instrumento también sentiría en su piel las consecuencias.

El Informe Franck

Antes (la primavera de 1945) de que se lanzasen las bombas atómicas sobre Japón, pero cuando ya se veía el final en el horizonte, James Franck, el valiente físico de Gotinga que se apresuró a abandonar su puesto ante las leyes raciales de Hitler y que finalmente se instaló en

Estados Unidos, donde formó parte también del Proyecto Manhattan, comenzó a preocuparse por las consecuencias que acarrearía emplear el nuevo armamento. Animó a otros compañeros del Proyecto, y en junio se formaron seis comités bajo los auspicios de Arthur Compton, del Laboratorio Metalúrgico de Chicago. Franck dirigió el Comité de Implicaciones Sociales y Políticas, del que eran miembros Donald Hughes, James Nickson, Eugene Rabinowitch, Joyce Stearns, Glenn T. Seaborg y Leo Szilard. El 11 de junio elaboraron un informe que enviaron en secreto al secretario de Guerra.[56] En él advertían sobre los peligros de emplear la bomba, recomendando que no se utilizase. Señalaban, asimismo, el riesgo de que se produjese una proliferación nuclear después de la guerra (especialmente una carrera armamentística con la Unión Soviética), mostrándose a favor de un control internacional de la energía atómica. Compton y Franck intentaron entrevistarse en Washington con el secretario de Defensa, Henry Stimson, pero no lo lograron, dejando el informe en su oficina. No existe ninguna evidencia de que el presidente Truman llegase a conocerlo.

No es preciso elucubrar mucho sobre lo que esta pequeña historia significa. Los científicos habían hecho posible y puesto en marcha un instrumento que poseía obvias implicaciones sociopolíticas. Algunos intentaron controlar esas implicaciones, pero los políticos no se lo permitieron. Un nuevo ejemplo, particularmente transparente de las relaciones entre el poder y la ciencia.

Ajustándose a una nueva era (nuclear)

Las bombas atómicas abrían, era evidente, una nueva era en la política internacional. Una época que planteaba más preguntas que respuestas; más posibilidades que certezas.

Muestra de la confusión que se originó entre los científicos, o si se prefiere, de los muy distintos planteamientos que éstos comenzaron a manejar, es una

reunión que tuvo lugar alrededor de seis semanas después de Hiroshima. A mediados de septiembre un grupo de científicos (la mayoría del Metallurgical Laboratory de Chicago) y diversas personalidades fueron invitados a una Conferencia sobre el Control de la Energía Atómica organizada por la Universidad de Chicago. Glenn Seaborg, director de la sección de Química (C-I) del Laboratorio de Metalurgia de Chicago y como ya sabemos descubridor del plutonio, que asistió a la reunión, anotó en su diario algunas de las ideas que se discutieron entonces.[57] El 19 de septiembre, Leo Szilard sugería «un plan de diez años mediante el cual 60 millones de americanos serían reinstalados al coste de 15.000 millones anuales. Para disminuir su vulnerabilidad, las nuevas ciudades deberían ser rectángulos alargados, de una milla de ancho y cincuenta de largo, y contener entre 100.000 y 500.000 personas cada una. Alguien avisó que semejante dispersión podría constituir un *causus belli* porque podría indicar que estábamos preparándonos para acciones militares».

La diversidad —uno está tentado a hablar de *caos*— de opiniones existente se mostró con claridad en aquella reunión. Unos hablaban de la necesidad de establecer controles internacionales y de que para prevenir de manera permanente la guerra habría que establecer un gobierno mundial; otros de que se debía ir hacia «una pacificación psicológica» entre la Unión Soviética y Estados Unidos. Los había también que insistían en la conveniencia de levantar todo secreto sobre el particular; los que señalaban las consecuencias de que muchos países lograsen fabricar bombas, manteniendo que sería mejor «universalizar el arma», que lo peor sería que sólo la poseyesen dos naciones. Otros se centraban en que ningún país tendría escrúpulos morales en emplear la bomba contra Estados Unidos, «ya que nosotros la utilizamos primero», y que el único control posible sería la «abolición completa de la fabricación de bombas», y que la inspección debería estar en manos de la ONU. Finalmente, también se argumentó que no de be rían mantenerse depósitos de bombas, pero que la ONU debería

po seer una «instalación para producir bombas en algún enclave internacional, fuera de fronteras nacionales. Esta instalación se podría poner en funcionamiento para la protección de todos si existiese una violación, esto es, si alguna nación renunciase al acuerdo de inspección».

Los inicios de la era de los computadores electrónicos: Turing, el Proyecto Manhattan y von Neumann

El Proyecto Manhattan ayudó a que terminase la guerra, mostrando de esta forma su utilidad militar, pero existieron otras consecuencias de los trabajos que se llevaron a cabo como parte de aquel gigantesco programa tecnocientífico-militar. Uno de ellos, el primero al que me voy a referir, es el que impulsó el de sa rro llo de los computadores electrónicos, un dominio, como es bien sabido, que iba a marcar la historia posterior de la humanidad, afectando a cada vez más ámbitos de nuestras vidas. Naturalmente, no pretendo argumentar que el de sa rro llo de estas máquinas se debe, únicamente o al menos en gran medida, al proyecto nu clear norteamericano. De hecho, la historia de los esfuerzos que condujeron al nacimiento de la era de los computadores modernos debe mucho a los británicos, y en particular a uno de ellos, Alan Turing (1912-1954), un genio matemático pero también una figura trágica (sufrió las consecuencias de ser homosexual en una época en la que la homosexualidad era ilegal en Gran Bretaña; en 1952, después de ser declarado culpable en un juicio público, se sometió a una terapia de tratamiento hormonal experimental durante un año, y en 1954 falleció en su casa, casi con seguridad suicidándose).

En 1936-1937, Turing publicó uno de esos ar tícu los que pasan a formar parte de lo mejor que la especie humana ha creado. Se titulaba «On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem» («Sobre números computables, con una aplicación al Entscheidungsproblem [problema de la decisión]»).[58] En él describía una máquina digital de calcular abstracta —una

«máquina universal», posteriormente conocida como «máquina de Turing»— que a la postre proporcionó la base teórica para el funcionamiento de los modernos computadores. El mismo año en que Turing escribió este artículo, en septiembre, dejó Inglaterra (Cambridge) por la Universidad de Princeton, atraído por los trabajos que sobre el problema de la decisión estaba realizando Alonzo Church (1903-1995). Permaneció allí hasta 1938. En Princeton, en el Instituto de Estudio Avanzado, estaba como sabemos John von Neumann, que reconoció el talento de Turing y la importancia de sus ideas (en particular las incluidas en «On computable numbers»). De hecho, le ofreció un puesto como su ayudante, oferta que Turing no aceptó, regresando a su patria.[59]

Poco después de volver a Inglaterra comenzó la guerra, y como había estudiado criptografía se unió al equipo secreto de descifradores de códigos que trabajaba en Bletchley Park. Allí participó, bajo la dirección de Thomas H. Flowers, en el diseño y construcción del «Colossus», la máquina que permitió descifrar códigos alemanes, obteniendo información que fue vital para planear la invasión que comenzó con el célebre día D, en que se inició la invasión de Normandía. «Colossus», que entró en funcionamiento en diciembre de 1943, fue en realidad el primer computador digital moderno, aunque apenas ejerció influencia ya que su existencia se mantuvo en secreto durante varias décadas.[60] Y en este punto tengo que referirme a los logros que tuvieron lugar en este dominio al otro lado del Atlántico.

Que los problemas de cálculo constituían un apartado importante de las tareas del Manhattan Engineer District, no es difícil de entender. Richard Feynman recordó muchos años después los problemas que todos esos cálculos les ocasionaban:[61]

> [En Los Álamos] teníamos que hacer montones de cálculos, que efectuábamos en calculadoras Marchant ... manuales de teclado numérico. Uno pulsaba los números, accionaba la palanca, y la máquina multiplicaba, dividía, sumaba o lo que

> fuese... Eran artilugios mecánicos que fallaban muchas veces y que, por tanto, había que mandar frecuentemente a la fábrica para que los reparasen. Muy pronto empezaron a escasear las máquinas... [y] acabamos por llegar a la conclusión de que el gran problema, que consistía en averiguar exactamente lo que ocurría durante la implosión de la bomba a fin de calcular cuánta energía sería liberada... exigía una potencia de cómputo muy superior a la que podíamos realizar.

Cuando el matemático húngaro John von Neumann, afincado como hemos visto en Princeton desde 1931, se unió a los trabajos del programa de implosión (colapso hacia un estado supercrítico de materiales fisionables, Pu-239 o U-235, mediante la detonación de potentes explosivos puestos alrededor suyo), pronto encontró que le era imposible obtener soluciones numéricas para su modelo matemático de implosión; los grupos de calculadores (habitualmente mujeres) con instrumentos de cálculo manuales no podían manejar —como señalaba Feynman— las grandes cantidades de operaciones que era preciso realizar.[62] Para progresar era necesario mejorar la capacidad de cálculo y von Neumann se dedicó a recorrer las instalaciones de cálculo que existían en la Universidad de Harvard y en los laboratorios Bell, pero las máquinas que vio no satisfacían sus necesidades.[63] Uno de los físicos que trabajaron en Los Álamos, Stanley Frankel, responsable junto a von Neumann de los cálculos necesarios para el diseño de las bombas atómicas, explicó años más tarde la influencia que las ideas de Turing ejercieron sobre el polifacético genio húngaro:[64]

> Sé que en o hacia 1943 o 1944, von Neumann era perfectamente consciente de la importancia del artículo de Turing de 1936, «On computable numbers...», que describe en principio el «Computador Universal» que ejemplifica todo computador moderno (acaso no ENIAC, tal y como se completó, pero sí ciertamente todos los siguientes). Von Neumann me dio a conocer este artículo y me urgió a que lo estudiase con atención. Muchas personas han aclamado a von Neumann como el «padre del computador» (en el sentido moderno del término), pero estoy seguro que él nunca habría cometido tal

> equivocación. Más correcto acaso sería denominarlo la comadrona, pero él me dijo con firmeza, y a otros, estoy seguro, que la idea fundamental se debe a Turing, en la medida en que no fue adelantada por Babagge, Lovelace y otros. En mi opinión, el papel esencial de von Neumann fue hacer que todo el mundo fuese consciente de estos conceptos fundamentales introducidos por Turing y de los trabajos de desarrollo llevados a cabo por la escuela Moore al igual que en otras partes.

Más concretamente, tenemos que en agosto de 1944 von Neumann coincidió en una estación de ferrocarril con Hermann Goldstine, que más tarde se convertiría en un estrecho colaborador suyo; a través de él, von Neumann se enteró de que en la Moore School of Electronics Engineering de la Universidad de Pennsylvania se estaba construyendo un computador electrónico, el ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer* [Computador Integrador Numérico Electrónico]), para los Ballistic Research Laboratories, uno de los centros estadounidenses más importantes de investigación científica aplicada a la guerra, para el que, por cierto, también trabajaba como asesor el matemático húngaro.[65] Cuando von Neumann se puso en contacto con los miembros de la Moore School ya estaba claro que no existían serios obstáculos para finalizar la construcción de ENIAC, un instrumento enorme que contenía 18.000 válvulas (su predecesor, «Collossus», construido, como hemos visto, en Inglaterra, tenía 1.500); de hecho, ya se estaba pensando en la siguiente máquina de la familia, EDVAC (*Electronic Discrete Variable Arithmetic Computer* [Computador Electrónico de Variables Aritméticas Discretas]).[66] Von Neumann se sumó a este proyecto, dedicándose al estudio de los problemas de su organización lógica, un trabajo que también le llevó a cuestiones relativas a las analogías existentes entre ordenadores y cerebro humano. Además, intervino en que los físicos de Los Álamos utilizaran el ENIAC para algunos de sus cálculos.

Una vez finalizada la guerra, en 1945, von Neumann decidió que quería disponer de su propio computador en

Princeton.[67] Inicialmente las autoridades y miembros del Institute for Advanced Study no recibieron con agrado la propuesta; al fin y al cabo el Instituto había sido concebido como un centro apartado de las investigaciones experimentales. Sin embargo, von Neumann manejó con habilidad ofertas de trabajo de otras universidades (MIT, Chicago, Columbia) para conseguir el apoyo del Instituto. La máquina, popularmente conocida como JOHNNIAC, se construyó con el apoyo de la Army, Navy y Atomic Energy Commission, entrando en funcionamiento en 1952.

Es interesante conocer algunos de los argumentos que manejaba von Neumann en defensa de los computadores inmediatamente después de finalizada la guerra. Veamos, a tal fin, lo que escribía el 20 de octubre de 1945 al banquero y entonces oficial del Departamento de Marina Lewis Strauss, que en 1953 se convertiría en director de la Atomic Energy Commission:[68]

> En nuestras conversaciones del martes, 16 de octubre, en el Departamento de la Marina, y del jueves, 18 de octubre, en la casa del Dr. Aydelotte [el director del Institute for Advanced Study de Princeton], expresó usted el deseo de que le proporcionase una descripción algo más detallada del tema de que hablamos; de lo deseable que sería establecer un proyecto de un computador de alta velocidad en el Instituto, como una empresa puramente científica, y del interés que el gobierno podría tener en tomar parte en tal proyecto.
>
> Como sabe, en este momento es posible acelerar la realización automática de operaciones aritméticas (adición, multiplicación, etc.) en un factor de alrededor de 10.000, frente a la práctica actual normal, y en un factor de 1.000 con respecto a los instrumentos más avanzados que se emplean ahora. Esto se puede hacer mediante métodos electrónicos de contar y utilizando varias técnicas de televisión y radar que han sido desarrolladas en el curso de los últimos cinco o diez años; y puede hacerse sin inventar nada muy nuevo desde el punto de vista de la ingeniería, simplemente combinando y «organizando» adecuadamente componentes que existen. (Estoy pensando en la muy realista multiplicación electrónica por números de diez dígitos a la velocidad de 1 milisegundo, cuando las posibilidades actuales a las que me refería antes son

de entre 1 y 10 segundos para multiplicaciones de 10 dígitos.)

En este punto, von Neumann mencionaba que ya se estaban construyendo máquinas de tales velocidades en varias agencias gubernamentales, de la Marina y el ejército, al igual que en la Moore School de la Universidad de Pennsylvania, con un contrato de la Armada. Pero von Neumann no sólo era un científico alerta, interesado y dedicado a servir a su país de adopción, utilizando para ello cualquier tipo de conocimientos científicos, también era pura y simplemente un científico, que no olvidaba que la búsqueda de nuevos conocimientos científicos constituía una tarea irrenunciable en sí misma, aunque, por supuesto, también podía conducir a nuevas aplicaciones político-militares. Así, añadía:

> Estoy convencido de que una máquina electrónica del tipo más avanzado que se pueda imaginar debería ser construida, no para emplearla en problemas específicos de matemática aplicada, de física de ingeniería, sino con el propósito de experimentar con la propia máquina para así desarrollar nuevos métodos de computación y de aproximación, y para, en general, adquirir formas de pensamiento lógicas y matemáticas que son necesarias para utilizar de forma realmente eficiente tal máquina... No tengo ninguna duda, por consiguiente, de que nos encontramos en el umbral de desarrollos muy importantes tanto en matemática pura como en sus aplicaciones, y que un instituto dedicado a la investigación pura debería emplear varios años para construir una máquina y experimentar con ella. Si dedicamos varios años a experimentar con semejante máquina, sin necesidad de preocuparnos por aplicaciones inmediatas, estaremos al final de ese período en una posición mucho mejor en todos los aspectos, incluyendo las aplicaciones.

Además de los trabajos, básicamente teóricos, llevados a cabo en Princeton, se estableció una extensión del grupo de Los Álamos que trabajaba en la «superbomba», la bomba de hidrógeno que mencionaré más adelante. Debido al retraso que sufrió la construcción del computador, éste pudo ser poco utilizado en los cálculos de la bomba, aunque el primer gran problema que se intentó resolver con él, una

vez finalizado, fue uno concerniente al programa termonuclear.

El radar

Se ha dicho en ocasiones que la bomba atómica terminó la guerra, pero que el radar fue quien la ganó.[69] No es difícil comprender, en efecto, su importancia, ni tampoco que los primeros pasos significativos se dieran en Gran Bretaña. Pero antes de detallar su historia, veamos algo de la importancia que este instrumento ha tenido para la sociedad y la ciencia (la física en particular). Recurriré para ello a una extensa cita de Ivan A. Getting, que obtuvo la Medalla al Mérito del Presidente por sus contribuciones al radar durante la guerra, y que más tarde llegó a ser presidente de la Aerospace Corportation de California, además de miembro de numerosos comités de defensa nacional.

«La historia del radar», escribió Getting, «es también la historia de nuestro tiempo, tiempos de terremotos políticos, de una revolución en métodos científicos y en su control, y de una explosión de la ciencia aplicada y la tecnología.»[70] Y en este punto continuaba:

> La amenaza del nazismo y del fascismo dio origen al radar, y la amenaza continua del comunismo favoreció el crecimiento de sus posibilidades... El desarrollo del radar en Inglaterra y Estados Unidos ha dejado como productos conceptos nuevos en la organización de la investigación y el desarrollo, que implican esfuerzos armónicos de grandes grupos de científicos... El desarrollo del radar ha influido de manera manifiesta, posiblemente más que cualquier otra tecnología, en nuestras vidas y en las de las siguientes generaciones inmediatas, dando lugar a tecnologías asociadas y apoyándolas a través de técnicas, componentes y conceptos que surgieron de las primeras líneas de desarrollo del radar.
>
> La tecnología de microondas que resultó del radar ha encontrado aplicación en las redes de comunicación de microondas, que ahora cubren continentes enteros; y los tubos de alta potencia han hecho posible establecer redes de

> comunicación incluso en áreas remotas, como Islandia y Alaska. Amplificadores de banda ancha y circuitos de pulsos, las sirvientas del radar, junto con la mejora de los osciloscopios para radares, presagiaron la amplia difusión y disponibilidad de la televisión. Debido a que el radar ha dado al hombre una capacidad sensitiva en muchos aspectos muy superior a la que le suministran sus sentidos de la vista y el oído, los equipos que necesita han forzado el desarrollo de servomecanismos, computadores analógicos y digitales, que a su vez han ganado mucho, ellos mismos, de la tecnología del radar, produciendo una revolución en el manejo de datos e información. Por último, el radar ha pagado su deuda con la ciencia, suministrando herramientas, como la espectroscopia de microondas y la radioastronomía, que han hecho avanzar materialmente nuestros conocimientos fundamentales de la materia y el universo.

Y ahora sí, pasemos a la historia de los orígenes del radar.

La caída de Francia el 17 de junio de 1940 representaba un gran problema para Gran Bretaña. Ya sólo una estrecha franja de mar le separaba del ejército alemán. Pero no era de entrada por el mar por donde el peligro iba a llegar, sino por el aire, transportado por la poderosa Luftwaffe.

La situación recordaba a la de la Primera Guerra Mundial con los submarinos alemanes. Al igual que entonces se planteó el problema de detectarlos, ahora era preciso diseñar métodos que avisasen si los aviones germanos estaban en camino hacia las islas. Como en la Gran Guerra, el método en cuestión debería basarse en señales que chocasen con los aviones y que al reflejarse pudiesen ser detectadas en su lugar de origen. Las señales deberían ser, por supuesto, electromagnéticas, que se mueven con la velocidad de la luz. Era, por consiguiente, un problema de electrónica.

En 1940, lejos de los tiempos gloriosos de los cables submarinos o telegráficos, esa disciplina ya no estaba en su infancia y los británicos pudieron hacer algo. Así, en varios lugares de la costa este inglesa se podían encontrar unas

torres altas, de entre 60 y 90 metros de altura, en cuya cumbre se encontraba un sistema de *r*adio-*d*etection-*a*nd-*r*anging (detección y localización por radio), un, abreviadamente, *radar*, con su antena dirigida hacia el continente.[71] Cada unidad de radar era capaz de emitir ondas de radio, y si estas ondas encontraban un objeto en su camino, la pequeña parte de onda reflejada de vuelta al radar podía ser detectada en él. Este sistema de estaciones de radar denominadas CHAIN, controlaba los cielos del canal de La Mancha y del mar del Norte. Era un sistema primitivo, con ondas de radio de 10 metros, pero servía para localizar aviones alemanes y avisar a la Royal Air Force para que saliera a su encuentro.

¿Por qué era un sistema primitivo? La respuesta es fácil. En la detección por radar, un haz de ondas de radio se envía hacia un objetivo. Según se mueven hacia él, las ondas «se abren», de manera que únicamente una pequeña fracción de la energía inicial puede llegar a ser reflejada por el objeto buscado. Y a la onda reflejada, que «vuelve a casa», le ocurre lo mismo, por supuesto, con lo cual disminuye de nuevo la energía que llega al radar. Obviamente, cuanto mayor sea la energía emitida y menor la longitud de la onda, más eficaz será el sistema; en particular, más pequeños podrán ser los sistemas de radar, con lo cual podrían llegar a ser instalados incluso en los propios aviones (las antenas de 60 metros no eran, ciertamente, una posibilidad).

Aunque no se encontraba todavía en guerra (tardarían cerca de año y medio en entrar en ella), Estados Unidos estaba también preocupado por la detección electromagnética de objetos. De hecho, la primera solicitud que llegó al National Defense Research Committee (establecido, recordemos, el 27 de junio de 1940), procedió de las Fuerzas Aéreas, que querían ser capaces de llevar a cabo bombardeos incluso cuando los blancos estuviesen ocultos por nubes. En respuesta a su petición, el NRDC formó un «Comité de microondas», encabezado por Alfred L. Loomis, que trabajó durante el verano, aunque sin

avanzar demasiado.72

Sin embargo, los británicos, que llevaban la delantera (desde 1934 tenían un comité encargado del estudio científico de la defensa aérea), sí habían progresado y en esta ocasión no pusieron pegas a hacer partícipes de sus avances a sus aliados tradicionales; tal vez porque la electrónica capturó menos la imaginación de sus políticos que las ideas de los físicos nucleares acerca de una bomba atómica que podría acabar con todas las guerras y traer un poderío incomparable, o porque el problema práctico que subyacía al desarrollo del radar (defenderse de los alemanes) era urgente y vital, mientras que una posible bomba atómica era algo distante en el futuro. El hecho es que en septiembre los estadounidenses recibieron a una delegación, encabezada por Henry Tizard (que, como vimos, poco antes había realizado una función similar con respecto al proyecto atómico), que portaba un pequeño pero valioso envío: un magnetrón. Los visitantes argumentaban que este instrumento, que había sido desarrollado por dos físicos de la Universidad de Birmingham, Henry A. Boot y John T. Randall en las primeras semanas de 1940, podía producir ondas electromagnéticas de sólo 10 centímetros de longitud de onda (microondas) y de gran intensidad, unos 10.000 vatios (por entonces los americanos estaban intentando desarrollar un sistema —el Mark I— que generaría ondas de 40 centímetros y 2.000 vatios de intensidad). Si era verdad, el avance sería importantísimo; se abriría, por ejemplo, la posibilidad de diseñar radares que se pudiesen instalar en aviones o en barcos.73 El 6 de octubre se realizaron las pruebas pertinentes del magnetrón en los Bell Telephone Laboratories. El resultado fue satisfactorio y el efecto psicológico inmediato.74 El Comité de Microondas decidió establecer un laboratorio central para desarrollar el radar de microondas. El Comité también estableció tres metas a alcanzar:

Proyecto I: (el de mayor prioridad): Desarrollar un radar

de 10 centímetros que se pudiese instalar en aviones y utilizar para detectar otras aeronaves.

Proyecto II: Desarrollar un radar de precisión para ser utilizado por la artillería en sus disparos.

Proyecto III: Desarrollar un sistema de radar de largo alcance para la navegación marina.

El 15 de octubre se ofreció la dirección del nuevo laboratorio (aún por designar) a Lee A. DuBridge, un experto en fotoelectricidad, director del Departamento de Física y decano de la Facultad de Artes y Ciencias de la Universidad de Rochester. El día siguiente, después de entrevistarse con Loomis y con Ernest Lawrence, cuya influencia en el diseño de la política científica traspasaba con creces los límites de California, DuBridge aceptaba el encargo.[75] El día 18 se tomaba la decisión de situar el nuevo laboratorio en el campus del MIT, debido a la capacidad técnica y experiencia administrativa de esta institución. Pronto el nuevo centro se denominaría «Radiation Laboratory», una denominación que también servía para disimular su auténtico empeño, ya que al ser análogo al nombre del laboratorio de física nuclear de Lawrence en Berkeley se daba a entender que sus fines eran los mismos, y entonces la física nuclear todavía no se consideraba tan inmediatamente aplicable a la guerra como el radar.

La evolución del Radiation Laboratory (o Rad Lab) es significativa: de unos comienzos relativamente precarios, con locales construidos con madera y un pequeño grupo de alrededor de tres docenas de físicos teóricos, se pasó, hacia finales de 1942, a un presupuesto de 1.150.000 dólares ¡mensuales!, y a un personal formado por 2.000 trabajadores. Al final de la guerra, el Rad Lab empleaba 3.897 personas, de las que 1.189 eran científicos e ingenieros, gastaba 125.000 dólares diarios y terminaría habiendo manejado un presupuesto total de 80 millones de dólares.[76]

En logros técnicos, el Rad Lab hizo honor a las

inversiones efectuadas. Los submarinos alemanes, más rápidos y capaces de alcanzar mayores profundidades que los de la Primera Guerra, estaban infligiendo de nuevo severas pérdidas a los británicos (el sonar los detectaba, pero con dificultad, entre otras razones porque estaban equipados con unos productos químicos que expulsados durante la inmersión creaban una nube de burbujas que confundían al sonar), y éstos solicitaron la ayuda del Rad Lab. En agosto de 1941, los científicos que trabajaban en MIT ya habían desarrollado un radar denominado ASV (*a*ir to *s*urface *v*essel) que detectaba navíos a unos 30 kilómetros de distancia y submarinos emergidos a entre 4 y 7 kilómetros.77 Los británicos comenzaron a utilizarlos inmediatamente (en diciembre) en vuelos de prueba con dos de sus bombarderos. El éxito fue el suficiente como para animar a las Fuerzas Armadas estadounidenses. Por entonces, Estados Unidos ya estaba en guerra, encontrándose con que los submarinos alemanes controlaban las aguas de su costa este. Durante el mes de febrero de 1942, 82 mercantes estadounidenses fueron hundidos por submarinos germanos. Los científicos del Radiation Laboratory intensificaron sus trabajos y la Fuerza Aérea su disponibilidad, y la noche del 6 de abril un bombardero B-18 equipado con un radar detectaba en su primera noche de patrulla a un submarino alemán situado a una distancia de cerca de 20 kilómetros. Tras perseguirlo, logró hundirlo.

El anterior ejemplo no es sino uno más entre los muchos que se pueden elegir para enfatizar la importancia que el radar tuvo para el desarrollo de la guerra. De los magnetrones que producían ondas de 10 centímetros se pasó a otros que daban origen a ondas de 3 centímetros y más tarde a fuentes que emitían ondas de 1 centímetro. En 1945, en el Rad Lab se habían diseñado más de cien sistemas de radar, cerca de la mitad de los utilizados durante la guerra.

Un modelo para imitar

Además de sus logros técnicos, el Radiation Laboratory constituyó un modelo de organización científica que en el futuro sería imitado. Citaré en este sentido lo que manifestó un veterano del laboratorio, Norman Ramsey, premio Nobel de Física en 1989 por sus trabajos en haces moleculares y relojes atómicos, en una entrevista que le hizo John Bryan el 20 de junio de 1991:[78] «Yo diría que obtuvimos más ideas de cómo formar un laboratorio, del Radiation Lab que de Los Álamos. Se acepta generalmente que el CERN, el gran laboratorio internacional de Ginebra, que tanto éxito ha tenido, se modeló siguiendo el ejemplo del Radiation Lab. [I. I.] Rabi y yo, a través de Brookhaven, somos los abuelos del CERN, aunque Rabi también fue un padre. Rabi estaba en la UNESCO y empujó a los europeos a unirse en un laboratorio común... No hay duda de que Fermilab y la University's Research Association [Asociación para la Investigación de Universidades; URA] siguieron el modelo de Brookhaven y de la AUI [Associated Universities Incorporated; Asociación de Universidades Inc.], que a su vez siguieron el modelo del Radiation Laboratory. AUI y URA son las organizaciones que dirigen los dos laboratorios».

Ramsey habla aquí de laboratorios de física de altas energías extremadamente importantes: el CERN, del que me ocuparé más adelante, y los estadounidenses Brookhaven (Nueva York) y Fermilab (Chicago), tres instituciones de *Gran Ciencia*. Según él, y es la suya una opinión no sólo informada sino muy razonable, los tres centros siguieron el ejemplo del Radiation Laboratory del MIT, que de esta manera extendió su influencia más allá del importante papel que llevó a cabo en la aplicación de la ciencia y la tecnología a la Segunda Guerra Mundial.

El proyecto radar y la física del estado sólido

Si el proyecto del radar fue importante para la guerra,

no menos lo fue para la propia ciencia, en concreto para el desarrollo de la disciplina que más terminaría influyendo en el resto del siglo: la física del estado sólido denominada más tarde «de la materia condensada».

Como he indicado, uno de los problemas a resolver para poder disponer de un radar es el de la detección de las ondas reflejadas. Se necesitan detectores muy sensibles, ya que las señales que se reciben son débiles. Al ser estas señales ondas (con valores, por consiguiente, sucesivamente positivos y negativos) el valor medio recibido en una antena es cero, por lo cual es necesario rectificar la señal. Un problema era que las válvulas electrónicas (de vacío) conocidas —y utilizadas ya con cierta profusión— no se podían utilizar como rectificadores, ya que la distancia entre sus electrodos no era lo suficientemente pequeña. Dos semiconductores, el silicio y, sobre todo, el germanio, atrajeron entonces la atención como posibles rectificadores.

En realidad el valor de algunos semiconductores como rectificadores era conocido desde hacía mucho, por lo cual no se puede hablar de que en la década de los cuarenta se descubriera este uso. En 1874, Ferdinand Braun había descubierto que un contacto entre un semiconductor y un metal tenía la propiedad de rectificar corrientes. Tres años después, Braun encontraba que este efecto dependía del tamaño de los contactos, hallazgo que condujo al desarrollo del denominado rectificador «bigotes de gato» (*cat's whisker*), en el que un pequeño punto metálico (el «bigote») produce un contacto rectificador en el semiconductor. Estos rectificadores/detectores se utilizaron bastante hasta que las válvulas de vacío los reemplazaron en la década de 1930.[79] En general, no obstante, el camino de los semiconductores hacia la posición predominante que llegarían a alcanzar en la ciencia y en la industria de la segunda mitad del siglo XX fue complicado. Inicialmente, no se sabía mucho de ellos, estando el interés de los científicos y de los técnicos centrado en los metales (recordemos lo apuntado en el capítulo 6). Refiriéndose a los comienzos de la década de los treinta en Inglaterra, Alan Wilson, que en

1931 rea li zó el primer análisis mecánico-cuántico de los semiconductores (todavía bastante primitivo), señaló:80 «Al regresar [a Cambridge] en octubre de 193l se mostró bastante interés en mis descubrimientos, pero cuando sugerí que acaso fuese el germanio una sustancia muy interesante para estudiar con detalle, el silencio fue ensordecedor».

Poco a poco, sin embargo, y de una forma en la que dominaba lo empírico, se fueron descubriendo algunas de las propiedades de semiconductores: que rectificaban corrientes eléctricas y que era posible aumentar su conductividad (en condiciones normales más pequeña que la de los metales) añadiendo impurezas (*dopándolos*) o aplicando calor, luz o voltajes eléctricos. Estas propiedades te nían evidente interés industrial, pero los problemas y la ignorancia que los ro dea ba cons ti tuían obstáculos importantes. El menor de estos problemas no era el que las propiedades rectificadoras de los cristales semiconductores se veían afectadas por la inhomogeneidad de los cristales disponibles. Como veremos enseguida, el que durante la guerra se desarrollasen métodos para la obtención de cristales semiconductores más puros constituyó un avance muy importante.

El proyecto del radar hizo que todos estos problemas adquirieran mayor importancia. A través del Rad Lab, el gobierno, que era quien decidía y establecía los contratos pertinentes, repartió dinero para el estudio de los semiconductores, en especial el silicio y el germanio, que lle ga rían a convertirse en una especie de mosca Drosophila (en analogía a lo que ésta representó para el avance de la genética) para la física del estado sólido. Dos fueron los centros que más se distinguieron en el estudio de estos semiconductores: el Departamento de Física de Purdue University, en Indiana, liderado por Karl Lark-Horovitz, y los laboratorios Bell.81 El primero, que antes de la guerra y de la posibilidad de los contratos ofrecidos por el Rad Lab no se había interesado por cuestiones de este tipo, se especializó en el germanio, produciendo un análisis

teórico de los procesos de conducción que tienen lugar en ese semiconductor, análisis que mostraría su gran valor después de la guerra, cuando fue utilizado en los laboratorios Bell para el desarrollo del transistor. Por lo que respecta a su aportación experimental (y en este sentido más práctica) al esfuerzo bélico, los investigadores de Purdue desarrollaron métodos para producir germanio de gran pureza, logrando también controlar mejor la introducción de impurezas. Gracias a estos logros, mejoraron el rectificador de germanio, desarrollando un prototipo que Western Electric comenzó a producir en 1944.

Por lo que se refiere a los laboratorios Bell, antes de la guerra ya tenían alguna experiencia con semiconductores. El director (entre 1928 y 1934) del Departamento de válvulas de vacío, Mervin Kelly, se dio cuenta de las posibilidades que podían esconder. Debido a su capacidad de rectificar y amplificar, las válvulas de vacío habían ayudado a la gran expansión del sistema telefónico (el negocio de donde habían surgido los laboratorios Bell) que tuvo lugar en Estados Unidos en las décadas de 1920 y 1930; pero eran caras, voluminosas, no excesivamente fiables y malgastaban mucha energía. Por estos motivos Kelly estaba interesado en los semiconductores, e intentó establecer un programa en este sentido. Sin embargo, en realidad era un poco prematuro, y no recibió la autorización pertinente, aunque sí que se realizaron trabajos ocasionalmente.[82]

Otra oportunidad para entrar en el ámbito que terminaría conduciendo de nuevo a los semiconductores surgió para los laboratorios Bell en 1937, cuando recibió del Naval Research Laboratory el encargo de desarrollar un sistema de radar, lo que efectivamente hicieron construyendo uno que operaba en la región de los 60 centímetros, y que fue utilizado por la Marina en los primeros tiempos de la guerra. Esta experiencia fue lo que abrió a los laboratorios Bell las puertas de los contratos del Rad Lab durante la Segunda Guerra Mundial.[83] A lo largo

de los años de guerra, Bell produjo una gran cantidad de radares (desde portátiles hasta otros para instalar en submarinos, pasando, naturalmente, por los destinados a aviones), que Western Electric, la rama de producción de los laboratorios, construía. En conjunto, aproximadamente la mitad de la investigación realizada durante la guerra en los laboratorios Bell estuvo relacionada con el radar. De percibir en 1939 unos 100.000 dólares al año de contratos con el gobierno (lo que representaba el 1 por 100 de su presupuesto total), los Bell *labs* pasaron en 1944 a recibir 56 millones, el 81 por 100 de sus gastos en investigación. Consecuentemente, el personal se multiplicó por diez. La guerra, en otras palabras, resultó rentable para esta institución. Pero lo sería más, ya que los conocimientos obtenidos durante sus trabajos para el radar, que les llevaron a relacionarse con frecuencia con los investigadores de Purdue, terminarían conduciéndoles al transistor.

Una vez más Kelly insistió en el interés de los semiconductores; de hecho, lo hizo antes de que acabase la guerra. Pero ahora la situación era diferente a la de los años treinta; él mismo había progresado en la jerarquía del laboratorio (en 1945 sería nombrado vicepresidente ejecutivo), y además la importancia de esos materiales era, si no evidente, casi, y otras empresas también mostraban su interés en ellos. Con varias décadas ya de experiencia en investigación industrial, Kelly y los directivos de Bell se dieron cuenta que para progresar era necesario prestar atención a la física del estado sólido, y así reorganizaron en 1945 el Departamento de Investigación Física haciendo de esa física el eje principal. No se preveían resultados inmediatos, pero, como se señalaba en una memoria de 1940-1942, «era razonable esperar que en última instancia tal aproximación fundamental indicara el camino a la producción de nuevos materiales con propiedades de importancia para su utilización telefónica».[84]

El transistor

En diciembre de 1947, más concretamente el día 23, esa táctica daría su fruto. Tres investigadores de los laboratorios Bell, John Bardeen (1908-1991), Walter Brattain (1902-1987) y William Shockley (1910-1989), se daban cuenta de que habían producido un pequeño elemento de implicaciones revolucionarias, al que denominaron *transistor* y por el que recibirían el premio Nobel de Física de 1956. He aquí cómo lo describió el *New York Times* algunos meses después:[85]

> Un nuevo aparato llamado transistor, con diversas aplicaciones a la radio en sustitución de las válvulas de vacío, fue presentado ayer por primera vez en los Bell Telephone Laboratories de la West Street 463, en donde también tuvo lugar su invención. Esta pieza se presentó incorporada a una radio que no contenía ninguna de las válvulas habituales hasta ahora. También se presentó incorporada a un sistema telefónico, y a otro de televisión, controlada a través de un receptor instalado en un sótano del edificio. En todos esos casos el transistor ha sido empleado como amplificador, si bien se asegura que también puede utilizarse como oscilador, al producir y emitir ondas de radio.

El que la prensa tardase más de medio año en informar (no con demasiado entusiasmo, por otra parte) del descubrimiento no es casualidad. Preocupados de que un invento similar se pudiese estar realizando en otros lugares (acaso en Purdue) y de las implicaciones que para la concesión de las patentes pertinentes esto pudiera traer, Bell retuvo la información durante siete meses, no teniendo nadie permiso para mencionar el logro. Durante este tiempo se prepararon cuidadosamente las patentes. Consciente de las implicaciones potenciales del transistor para la defensa nacional, el 23 de junio de 1948 —un día después de divulgar la noticia en todo el laboratorio— la empresa presentó el instrumento al ejército, que en este caso no había participado en la financiación de los trabajos. Afortunadamente para Bell, en vista del amplio espectro de

aplicaciones posibles, el ejército decidió no clasificarlo.

Sin embargo, esta decisión no significó que las Fuerzas Armadas estadounidenses no se interesasen por las aplicaciones militares del transistor. En junio de 1949 llegaba el primer contrato del ejército para Western Electric y los laboratorios Bell. El primero no fue muy grande, pero tras él vinieron otros más cuantiosos, en una secuencia que se extendió al menos hasta 1958.[86] De los 22,5 millones de dólares que los laboratorios Bell se gastaron entre 1948 y 1957 en desarrollar la tecnología del transistor, el 38 por 100 procedió de las Fuerzas Armadas.[87] Los motivos de su interés son claros: su pequeño tamaño y escaso consumo energético encajaban magníficamente con el programa de miniaturización de equipos militares que comenzó a principios de la década de 1950. Entre 1955 y 1961, el Departamento de Defensa invirtió 66 millones de dólares en programas para desarrollar las posibilidades del transistor. La industria respondió desarrollando, en 1954, el transistor de silicio que podía funcionar a temperaturas mucho más altas que los iniciales, que empleaban otro semiconductor, el germanio. El transistor de silicio fue preferido para aviones y misiles teledirigidos, a pesar de que era mucho más caro.

Las posibilidades que abría el transistor y materiales semiconductores como el silicio y el germanio, no tardaron demasiado en hacerse evidentes para el mundo industrial. Para compañías emprendedoras, por supuesto, pero también para científicos, que, inmersos en un mundo en el que el dinero y los negocios representaban un valor no sólo material sino cultural también, se decidieron —algunos al menos— a traspasar las fronteras de la academia de una manera mucho más radical que cuando aceptaron trabajar para laboratorios industriales como podían ser los Bell: esto es, convirtiéndose ellos mismos en empresarios. Tal fue el origen del célebre Silicon Valley (Valle del Silicio), situado el sureste de San Francisco, en cuya constitución desempeñaron papeles centrales Frederick Terman, catedrático y director de la Escuela de Ingeniería de la

cercana Universidad de Stanford, y William Shockley, que abandonó los laboratorios Bell de New Jersey, buscando horizontes más lucrativos (en 1955 fundó, en lo que entonces era simplemente los alrededores de la bahía de San Francisco, su propia compañía, el «Shockley Semiconductor Laboratory»). Como es bien sabido, el crecimiento, durante las décadas de 1960 y 1970, de Silicon Valley fue extraordinario, pero no es explorar ese crecimiento lo que me interesa aquí, sino resaltar el papel simbólico y ejemplificador que desempeñó en la configuración de una «nueva alianza» entre ciencia e industria.

Un momento especialmente importante en la «aplicación civil» del transistor llegó en torno a 1960, cuando se introdujeron técnicas con las que se crecían láminas de material semiconductor (silicio, especialmente) que condujeron a los *chips*. Con esas técnicas, se consiguió que los transistores dejasen de ser componentes específicos que había que conectar a un circuito; se logró, en definitiva, producir circuitos integrados en los que los diversos componentes del sistema podían fabricarse sobre una misma oblea de material semiconductor.

Las compañías que desarrollaron el transistor y los circuitos integrados fueron industrias como Texas Instruments, una compañía geofísica, que en 1952 había decidido que el futuro estaba en los transistores, y Fairchild Semiconductor, no tenían nada que ver con la industria de las comunicaciones. Y por ello buscaron nuevos escenarios a los que llevar sus nuevos transistores. Escenarios como las calculadoras, en las que Texas Instruments desempeñó (al igual que IBM) un papel dominante durante algún tiempo. De hecho, hasta la llegada de los transistores y circuitos integrados, las máquinas de calcular utilizadas eran gigantescos amasijos de componentes electrónicos, como era ENIAC, que tenía, como ya indiqué, 18.000 tubos electrónicos, unidos por miles de cables, y que pesaba 30 toneladas y consumía 174 kilowatios. Podemos considerarlo el paradigma de la primera generación de computadores.

Con los transistores llegó, en la década de 1950, la segunda generación: el TRADIC (de *Transistorized Digital Computer*), construido en 1954 por los Laboratorios Bell para la Fuerza Aérea estadounidense; utilizaba 700 transistores y podía competir en velocidad con ENIAC.

Tenemos, en definitiva, que el mundo de la industria privada se benefició del proyecto del radar. Los laboratorios Bell (que en la actualidad, por cierto, dependen de Lucent Technologies) fueron uno de los más agraciados, pero no fueron los únicos. Veamos, en este sentido y para finalizar esta sección, lo que Theodore Saad respondió a la pregunta de Andrew Goldstein (en una entrevista que éste le realizó el 23 de mayo de 1991) acerca de cuáles eran los grupos del Radiation Laboratory que trabajaban en tecnologías más innovadoras, esto es, en las que tenían más atractivo para la industria privada:88

> Un grupo era el grupo de moduladores, otro el de los receptores, otro el de los indicadores, otro el de los componentes de microondas y otro el grupo de antenas, [pero] nadie llegaba y decía: quiero estar en el asunto de las microondas porque creo que existe ahí un gran mercado. De todas maneras, los grupos que atrajeron más atención fueron los grupos de sistemas. Por ejemplo, uno de los grandes sistemas que se construyeron durante la guerra fue el 584, y eran tres las compañías implicadas: Westinghouse, General Electric y Chrysler. Chrysler construyó... una gran parte de la estructura mecánica. Creo que ahora reconocen el valor de aquello. Y por supuesto, Westinghouse ha estado desde entonces en el negocio del radar. Hicieron un trabajo excelente. Motorola fue otra [de las compañías implicadas], y continuó fabricando sistemas de radar después de la guerra. Raytheon siguió fabricando tubos, otros tipos de radares y productos de microondas. También después de la guerra, Sylvania continuó haciendo diodos de microondas y algunos de los componentes asociados que formaban parte del sistema de radar. Había otras compañías: Philco, que ya no existe, hizo muchas cosas. Estaban en el negocio de los diodos de microondas, y construyeron algunos sistemas. Los Laboratorios Bell, por supuesto, aunque no necesitaban al Radiation Lab para hacer las cosas que estaban haciendo, mantenían sin embargo, una estrecha relación con él y continuaron haciendo sistemas de radar. Después de la

guerra, fueron *el* talento creativo en las microondas.

La industria privada relacionada con la electrónica, en definitiva, se vio beneficiada por la existencia del Radiation Laboratory y por los problemas —y encargos que recibieron — que la guerra hizo urgente resolver.

OTRO GRAN BENEFICIADO DEL PROYECTO RADAR: MIT

Acabamos de repasar los beneficios que el proyecto radar aportó al mundo de la industria privada, pero ¿qué pasó con la institución que acogió al Radiation Laboratory, con el Massachusetts Institute of Technology? Obviamente, también se benefició.[89] En 1940 la División de Cooperación Industrial, la oficina que el Instituto Tecnológico había montado para administrar contratos de investigación, gestionaba unos 100.000 dólares, de los que alrededor de 10.000 procedían de contratos con el gobierno. En septiembre del año siguiente, MIT tenía contratos por valor de 10 millones, la mayoría con el gobierno. El dinero recibido fue importante por supuesto para, por ejemplo, mejorar instalaciones o contratar más personal, pero no lo fue menos, sino más en realidad, la experiencia científica, técnica y administrativa ganada, los proyectos iniciados y los contactos conseguidos. No hay duda que la guerra no perjudicó a MIT, sino que lo reforzó. La siguiente tabla es otra indicación en el mismo sentido.

TAMAÑO DE MIT[90]

Año	*N.° de departamentos*	*Población*
1939	36	3.300
1945	61	6.185
1947	54	5.242

En cuanto al propio Rad Lab, al principio se temió por su suerte tras la victoria; la OSRD pensó en dar por terminadas sus actividades. Sin embargo, el presidente Truman fue de la opinión de que con ello se perdería una

gran cantidad de conocimientos científicos. Según el notable físico John Slater, Truman «esperaba que con el tiempo las Fuerzas Armadas serían capaces de mantener con contratos el tipo de trabajos que la OSRD había permitido llevar adelante. Para que no se detuvieran los trabajos científicos, dio instrucciones a la OSRD para que continuase ciertos proyectos hasta el 30 de junio de 1946. Uno de esos proyectos era el Radiation Laboratory».[91]

Semejante persistencia y reforzamiento de instituciones o laboratorios involucrados en proyectos de investigación para usos militares durante la guerra no se dio sólo en Estados Unidos, aunque ciertamente en esta nación fue donde tuvo lugar con más fuerza. En Gran Bretaña, Malvern —el centro dependiente del Telecommunications Research Establishment, en cierto sentido una especie de rama británica del Radiation Laboratory— se transformó después de la guerra en el Royal Radar Establishment, el mayor laboratorio dedicado a la electrónica del país. Y lo mismo ocurrió en la investigación nuclear, que pasaría a concentrarse en el gran complejo del Atomic Energy Research Establishment de Harwell. De hecho, estos centros británicos eran de tal tamaño que el National Physical Laboratory parecía un enano a su lado. Y por supuesto también eran mucho mayores que cualquier laboratorio universitario. Una diferencia con el caso de Estados Unidos es que en Norteamérica la mayoría de estos grandes laboratorios pertenecían a universidades, aunque en realidad sólo pudiesen sobrevivir con el dinero federal (militar).

El crecimiento del I + D

Detrás de todo esto, de programas como el nuclear o el del radar, estaba, por consiguiente, un aumento sin precedentes en el dinero destinado por el Gobierno Federal a la investigación científica y tecnológica: el presupuesto de I + D (Investigación y Desarrollo) federal pasó de 74 millones de dólares en 1940 a 1.590 millones en 1945. Es

interesante comentar algunas de las características de este esfuerzo en I+D, que complementen lo dicho hasta el momento.

El grado y la intensidad con que Estados Unidos utilizó centros universitarios para I+D militar durante la Segunda Guerra Mundial le distinguió de las restantes naciones industriales implicadas en la contienda, en las que tales trabajos fueron realizados principalmente en instalaciones gubernamentales o privadas.[92] Por supuesto, hay que tomar en consideración a este respecto tanto el elevado número de universidades existentes en Estados Unidos como la gran tradición de búsqueda de recursos que esas instituciones han mantenido y mantienen. En más de un sentido, para esos centros de educación superior enfrentarse a la tarea de establecer nuevos centros de investigación con fines militares no era sino una manera más de abrirse a una sociedad de la que permanentemente buscaban recursos. De hecho, los físicos y autoridades universitarias reconocieron claramente que el esfuerzo bélico iba a producir —lo estaba haciendo ya en realidad— una expansión considerable de los laboratorios y departamentos de física y de ingeniería de sus respectivas universidades, y, consiguientemente, tomaron medidas y adoptaron tácticas encaminadas a sacar el máximo partido de tal situación mucho antes de que se viese próximo el final de la guerra. Slater expresó muy bien semejantes sentimientos en su autobiografía científica:[93]

> Durante la contienda prácticamente todo miembro del Departamento de Física de MIT había estado relacionado, de una manera u otra, con el trabajo para la guerra. Al aproximarse el final de ésta, muchos de ellos volvieron a Cambridge [Massachusetts], como hice yo, repletos de nuevos planes para el desarrollo de la física en el Instituto. La guerra había llevado la física a la atención del público, de la industria y del gobierno, como nunca antes había ocurrido. Era obvio que esto daría como resultado una gran expansión en el interés por la física, de manera análoga a lo que había sucedido con la química durante la Primera Guerra. En particular, el área de la electrónica, ejemplificada por el radar, y el de la estructura nuclear, aplicada a la bomba atómica, estaban encaminadas a

> llevar a investigaciones y aplicaciones cada vez más intensas, y a números mucho mayores de estudiantes y de oportunidades de empleo. El Instituto había sido un líder en ambos campos antes de la contienda y todo apuntaba a que tomaríamos una posición todavía más prominente después de 1945. Pensábamos entonces que los planes del Departamento deberían ser tales que asegurasen esa posición de liderazgo.

Si los científicos vieron con claridad algunas de las ventajas que se derivaban de una vinculación con los militares, éstos, por su parte, no dejaron de percibir cómo cambiaba su profesión con las posibilidades que ofrecía la ciencia y la tecnología. La seguridad nacional dependería en el futuro de la superioridad tecnológica, más aún teniendo en cuenta que el escenario de operaciones militares que manejaba Estados Unidos cubría no sólo su propio territorio, sino también Europa y, en menor grado, otros continentes. Y la superioridad tecnológica necesitaba ambiciosos y bien dotados programas de investigación, dirigidos por científicos competentes.

Son múltiples las formas posibles de comprobar que, efectivamente, los militares estadounidenses aprendieron muy bien la lección científica de la Segunda Guerra Mundial y de hecho ya nos hemos encontrado con algunas y tendremos ocasión en lo que resta de capítulo de encontrarnos con otras evidencias en el mismo sentido. Sin embargo, me detendré un momento en una que involucra más directamente las opiniones personales, frente a las institucionales manejadas hasta ahora. Tiene este ejemplo, además, la ventaja de una enorme claridad (crudeza, se podría decir tal vez), aparte de no estar ligado directamente con la energía nuclear ni con el radar, lo que permite introducir nuevos elementos en la discusión.

Theodore von Kármán y los militares

Como ya señalé, el húngaro Theodore von Kármán, uno de los expertos en física de fluidos y aerodinámica más destacados de todo el siglo xx, fue atraído a comienzos de la

década de 1930 al California Institute of Technology, dirigiendo en esta institución la Escuela Graduada de Aeronáutica Daniel Guggenheim, desde donde se convirtió en la máxima autoridad de Estados Unidos en el campo de la aeronáutica.

Al ser un eminente científico aplicado, no le faltaron a von Kármán todo tipo de ofertas para practicar asesorías. Las Fuerzas Armadas también le hicieron tales requerimientos, que él fue aceptando habitualmente, mucho antes incluso de que comenzase la Segunda Guerra Mundial. Pero me limitaré a los años de ésta.

No es extraño que Henry Harley Arnold, comandante general de las Army Air Forces y el principal defensor de que Estados Unidos contase con una Fuerza Aérea de igual rango que el Ejército de Tierra y la Armada, tuviese contactos frecuentes con el Instituto Tecnológico de California, que albergaba uno de los principales centros de formación aeronáutica de la nación.

Uno de los retos que Arnold debía afrontar como jefe de las Army Air Forces era «obtener los mejores cerebros disponibles, y hacerles que considerasen los últimos desarrollos en las Fuerzas Aéreas de los alemanes y los japoneses, así como de la R.A.F., y que determinasen los pasos que debería dar Estados Unidos para tener la mejor Fuerza Aérea del mundo dentro de veinte años».[94] En particular, Arnold deseaba encontrar a alguien capaz de encabezar un comité de científicos —«científicos prácticos», decía— e ingenieros que tuviesen experiencia en «sónica, electrónica, radar, aerodinámica y cualquier otra rama de la ciencia que pueda influir de alguna manera en el desarrollo de la aviación del futuro». Robert Millikan, que había llevado a von Kármán a Caltech, le recomendó a éste y el general aceptó la indicación.

En consecuencia, no pasó mucho tiempo antes de que von Kármán llegara a Washington y poco después, uno por uno, comenzaron a aparecer científicos. «Les dije a estos científicos», continuó Arnold en su autobiografía, «que quería que pensasen a veinte años vista. Tenían que olvidar

el pasado; considerar los equipos disponibles en la actualidad solamente como la base para las predicciones más atrevidas. Quería que pensasen sobre aviones con velocidad supersónica, aeroplanos que se moviesen y operasen sin tripulaciones; mejora en bombas, de manera que pudiéramos utilizar bombas más pequeñas para obtener efectos más grandes; defensas contra la aviación moderna y contra la que estaba por venir; sistemas de comunicación entre aeroplanos y tierra, y entre los propios aeroplanos en el aire; televisión, tiempo meteorológico, investigación médica; energía atómica, y cualquier otro apartado de la aviación que pudiese afectar al desarrollo y utilización del poder aéreo en el futuro.»

La relación a la que se estaba refiriendo Arnold comenzó en 1944, cuando el final de la Segunda Guerra Mundial estaba cercano, aunque ambos ya se conocían desde 1936.[95] Von Kármán pasó a depender directamente de Arnold, quien concretaba sus deseos el 7 de noviembre del mismo 1944, cuando envió al ingeniero y científico húngaro un informe que justifica el que me haya desviado momentáneamente de las ciencias físicas, adentrándome brevemente en la aeronáutica. El informe en cuestión merece ser reproducido en tanto que sirve para explicar el talante que animaría en el futuro a las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos, y a través de ellas a una gran parte de la política científica de las naciones más desarrolladas. Aunque la Fuerza Aérea estadounidense no representa el total de las Fuerzas Armadas de esta nación, sin embargo fue, en razón de su potencial y dependencia de la técnica, probablemente el cuerpo militar más influyente en la posguerra a la hora de diseñar o establecer, por un lado, las tácticas de defensa y ataque y, por otro, la política federal de investigación y desarrollo.[96]

MEMORÁNDUM PARA EL DR. VON KÁRMÁN:

Tema: Programa de desarrollo de largo alcance para las AAF [Army Air Forces].

1) Creo que la seguridad de los Estados Unidos de América continuará reposando en parte en desarrollos instituidos

por nuestros científicos universitarios y profesionales. Deseo que los programas de investigación y desarrollo posbélicos para la siguiente guerra de las Fuerzas Aéreas se pongan en una base razonable y sean estables. Además, quiero que estos programas contengan ideas bien pensadas, que miren hacia el futuro y que, además de garantizar la seguridad de nuestra nación y servir de guía para los próximos diez o veinte años, se puedan utilizar como base para solicitar al Congreso provisiones de fondos adecuadas.

2) Para ayudarle a que usted y sus asociados comprendan nuestras ideas actuales acerca de lo que es o debe ser la guerra, pasaré revista a nuestros principios. El objeto de la guerra total es destruir la voluntad de resistir del enemigo, lo que nos permitirá imponer en él nuestra voluntad. El logro de los objetivos de la guerra se puede dividir en tres fases: político, estratégico y táctico. La acción política está dirigida contra el poder gobernante del enemigo, la acción estratégica contra sus recursos económicos y la acción táctica contra sus Fuerzas Armadas. Las acciones estratégicas y tácticas son nuestra principal preocupación y se rigen por los principios de objetivo, sorpresa, simplicidad, masa, ofensiva, movimiento, economía de fuerzas, cooperación y seguridad.

3) Creo que es axiomático que:

a) Como nación somos una de las potencias predominantes.

b) Sin duda tendremos enemigos potenciales que constituirán una amenaza continua para la nación.

c) Mientras que las guerras más importantes continuarán desarrollándose principalmente entre los paralelos norte 30 y 60, hay que tomar en consideración la posibilidad de una guerra global.

d) Nuestra investigación y desarrollo prebélico ha sido a menudo inferior al de nuestros enemigos.

e) Son las armas ofensivas, no las defensivas, las que ganan las guerras. Las contramedidas son de importancia secundaria.

f) Nuestro país no mantendrá un gran ejército permanente.

g) Los requisitos de la economía de los tiempos de paz indican que, mientras que las AAF reciben ahora el 43 por 100 de los presupuestos del Departamento de Guerra, esta cantidad o proporción puede no continuar.

h) Equipo obsoleto, ahora disponible en grandes cantidades, puede ahogar el desarrollo y dar al Congreso una impresión falsa de seguridad.

i) Mientras que nuestros científicos no tienen necesariamente la cuestionable ventaja de una preparación militar básica, recíprocamente nuestros oficiales de las AAF no tienen que ser por necesidad científicos profesionales.

j) Armas con visión humana (y acaso con ayuda de radar y televisión) tienen una eficacia y flexibilidad potencial superior a las armas basadas en la mecánica.

k) Es un principio fundamental de la democracia americana que las pérdidas humanas son odiosas. Continuaremos luchando mecánicamente en lugar de utilizar hombres preferentemente.

l) Todavía no hemos superado los problemas que representan las grandes distancias, el tiempo atmosférico y la oscuridad.

m) Son requisitos: explosivos más potentes, velocidad supersónica, mayor eficacia en ofensiva masiva, mayor flexibilidad y control de armas.

n) La tendencia actual hacia armas de terror como bombas volantes y napalm puede continuar hacia la guerra bacteriológica y de gases.

4) No se puede desestimar la posibilidad de guerras importantes. Puede que no so tros, como una nación, no tengamos siempre potencias amigas de primer orden o grandes distancias oceánicas como barreras. Análogamente, supongo que nuestros enemigos pueden disponer pronto de medios de neutralizar plantas de producción aeronáutica. ¿No es posible ahora determinar si un arma totalmente diferente reemplazará al aeroplano? ¿Son una posibilidad los radares de control remoto, o cohetes militares de precisión guiados por televisión, o buscadores de múltiples usos? ¿Es la propulsión atómica algo que se deba considerar en una guerra futura?

5) Excepto, acaso, para revisar técnicas actuales y corrientes de investigación, lo que le pido a usted y a sus asociados es que dejen de lado la presente guerra e investiguen todas las posibilidades y modos de actuación más aconsejables para de sa rro llos en la posguerra y guerras futuras, con relación a las AAF. Cuando terminen sus estudios, deme, por favor, un informe o guía para recomendar futuros programas de investigación y de sa rro llo de las AAF.

¿Puedo pedirle que en su informe final incluya también recomendaciones a las cuestiones siguientes?:

a) ¿Qué ayuda de be ría mos dar o pedir a nuestras

organizaciones científicas educativas y comerciales en tiempo de paz?

b) ¿Se acerca el momento en que todos los científicos y sus organizaciones deban dar una pequeña parte de su tiempo y recursos para evitar el futuro peligro nacional y ganar la próxima guerra?

c) ¿Cuáles son los mejores métodos de institucionalizar la producción piloto de equipos sin fines comerciales, ni valor fiscal, de sarro lla dos exclusivamente para el período de la posguerra?

d) ¿Qué proporción del dinero disponible debería asignarse a la investigación y de sa rro llo?

Von Kármán se tomó muy en serio la tarea que Arnold le proponía, formando un grupo que fue conocido como Army Air Force Scientific Advisory Group (más tarde se transformó en el U.S. Air Force Scientific Advisory Group). Poco más de un año después, el 15 de diciembre de 1945, contestaba al general señalándole que en «cooperación con un selecto grupo de asociados, expertos en varias ramas de las ciencias implicadas», había intentado «revisar los requisitos científicos involucrados en las funciones de las futuras Fuerzas Aéreas». Los resultados del equipo dirigido por el profesor de Caltech fue un informe titulado *Toward New Horizons* (*Hacia nuevos horizontes*), que fue secreto hasta finales de la década de 1950.[97] Estaba dividido en trece partes, la primera de las cuales contenía una discusión algo general sobre la relación entre ciencia y guerra aérea, así como un análisis de los principales problemas de investigación de las Fuerzas Aéreas. Las doce partes siguientes incluían 32 monografías científicas, de temas tan variados como «Aerodinámica y diseño de aeronaves», «Direcciones futuras en el diseño y desarrollo de combustibles sólidos y líquidos para cohetes», «Materiales resistentes a altas temperaturas», «Control automático de vuelo», «Misiles guiados por televisión y calor», «Ayudas de radar para dirigir misiles», «Propiedades de explosivos potentes», «Utilización del radar en las operaciones de las Fuerzas Aéreas», «Direcciones futuras de investigación en medicina aeronáutica» o «Investigación psicológica en las

Fuerzas Aéreas».

Las tres primeras conclusiones generales del informe preparado por von Kármán merecen ser citadas:

1) El descubrimiento de los medios atómicos de destrucción hace que la existencia de unas Fuerzas Aéreas poderosas sea incluso más imperativo que antes...
2) Los descubrimientos científicos en aerodinámica, propulsión, electrónica y física nuclear, abren nuevos horizontes para la utilización del poder aéreo.
3) Los próximos diez años deberían ser un período de desarrollo sistemático y vigoroso, dedicado a la realización de las potencialidades del progreso científico, con los siguientes fines principales: vuelo supersónico, aviones sin pilotos, vuelo en todo tipo de tiempo meteorológico, navegación y comunicación perfeccionada, control remoto y lucha automatizada, fuerzas de bombardeo, y transporte aéreo de ejércitos completos.

El propio von Kármán fue el autor del primer trabajo del informe, titulado *Science, the Key to Air Supremacy (Ciencia, la llave para la supremacía aérea)*. Es interesante comentar algunos puntos tratados en el primer capítulo («Science and aerial warfare»; «Ciencia y guerra aérea») y relacionados con el poder atómico.

Para von Kármán, no se había reconocido hasta hacía poco que «la destrucción desde el aire es el medio más eficaz para derrotar al enemigo». Los resultados obtenidos en Alemania y Japón así lo demostraban. Ahora bien, desde su punto de vista había tenido lugar «un extraño cambio de opinión» después de la utilización de la bomba atómica. «Muchos líderes de la opinión pública parecen creer que la destrucción mediante unos pocos aeroplanos o misiles que transporten bombas atómicas es el único método de guerra en el futuro, lo que hace superflua una potente fuerza aérea. Otros dicen que el control internacional de energía

atómica hará imposible la guerra en el futuro.» Enfrentado a semejante opción, von Kármán consideraba tres posibilidades. La primera, que no se pudiese lograr un control internacional de la energía atómica que hiciese imposible la destrucción atómica de enemigos potenciales. La segunda, que se lograse tal control, pero considerando la posibilidad de que se tuviese que implementar a la fuerza. Por último, no había que excluir el riesgo de que a pesar del control y de que organizaciones internacionales declarasen ilegal la guerra, se produjesen «ataques desesperados en contra de Estados Unidos o de sus intereses vitales en alguna parte del globo».

Sobre la primera posibilidad, von Kármán señalaba que llevaría a la guerra total, con la utilización plena de armas atómicas por ambos bandos. «La ingeniería e industria atómica será simplemente una parte del potencial guerrero de una nación, acaso el más importante. En consecuencia, uno de los primeros propósitos de la guerra será la destrucción de este potencial.» Y aquí entraba la aviación: «Es evidente que tal ataque será la responsabilidad primaria de las Fuerzas Aéreas». Por consiguiente, había que estudiar y prepararse para todos los aspectos de la moderna guerra aérea, lo que implicaba, por supuesto, utilizar la ciencia.

En cuanto a la segunda posibilidad —la más probable en su opinión— también involucraba a las Fuerzas Aéreas, que serían las encargadas de velar por el cumplimiento de los acuerdos internacionales. «La historia demuestra que los acuerdos internacionales no han protegido a los firmantes y no han evitado las guerras, bien debido a que no existían medios para reaccionar o por razones políticas que impedían su uso. Ninguna rama de las Fuerzas Armadas, excepto las Fuerzas Aéreas, pueden realizar la acción requerida en el tiempo necesario para que sea eficaz.»

La tercera posibilidad llevaba a nuestro húngaro a conclusiones parecidas, aunque en este caso hacía hincapié en los aspectos ofensivos. «Es más fácil hacer eficaz una acción ofensiva mediante métodos científicos que una defensiva. La elevada velocidad de los aeroplanos y los

misiles sin piloto les hace estar prácticamente a salvo de ser alcanzados; no se conoce todavía ningún medio eficaz para detener tales misiles, una vez lanzados, y el hecho de que un solo aeroplano o misil sea capaz de lanzar una bomba de inmenso poder destructivo supone una tarea casi imposible para la defensa aérea. Todo lo que podemos esperar es que una superioridad aérea absoluta, combinada con instrumentos altamente desarrollados y especializados de aviso, nos ayudarán a erigir una barrera electrónica... que reducirá a un mínimo la posibilidad de que algún instrumento enemigo pase sin ser detectado ni destruido.»

Las conclusiones de von Kármán eran claras: se necesitaba una poderosa Fuerza Aérea, que fuese capaz de:

1) Alcanzar objetivos remotos con facilidad y que pudiese golpearlos con un gran poder destructivo.
2) Asegurarse la superioridad aérea en cualquier región del globo.
3) Desembarcar, en poco tiempo, fuerzas poderosas, hombres y armas, en cualquier lugar del globo.
4) Defender nuestro propio territorio y bases de la manera más eficaz.

Era evidente, por tanto, que «solamente una fuerza aérea que explote completamente el conocimiento y habilidad que la ciencia posee ahora y poseerá en el futuro tendrá la posibilidad de lograr estos fines». De nuevo el poder de la ciencia, pero promovido y controlado por el poder político, militar en este caso.

Obviamente, en 1945 von Kármán no era la única personalidad influyente que mantenía semejantes posturas acerca del valor de la ciencia para las Fuerzas Armadas. Por consiguiente, no sería justo atribuirle la paternidad de estos planteamientos, ni yo lo he utilizado con esa pretensión. Pero aunque se pueden encontrar otros científicos, «puros» al igual que «aplicados» que en esencia mantenían posturas similares, indudablemente, sus ideas fueron influyentes, muy especialmente en el ámbito de la Fuerza Aérea

norteamericana. Y, si tenemos en cuenta lo que vendría después, fueron también las suyas unas recomendaciones muy lúcidas.

VANNEVAR BUSH: *SCIENCE, THE ENDLESS FRONTIER*

El informe que von Kármán preparó para el general Arnold constituye una magnífica muestra de la militarización que amenazaba el futuro de la ciencia estadounidense. Una «amenaza» que se cumpliría, al menos en parte. Pero hubo otras tendencias, otras exploraciones de lo que la ciencia podría ofrecer a la sociedad en el futuro, una vez que la guerra hubiese terminado. Y aquí aparecen dos nombres: el del presidente Roosevelt y el de Vannevar Bush, director como sabemos de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico (OSRD). El 17 de noviembre de 1944, Roosevelt envió a Bush la siguiente carta:[98]

> Querido Dr. Bush: La Oficina de Investigación y Desarrollo Científico de la que usted es director, representa una experiencia única de trabajo en equipo y cooperación en la coordinación de la investigación científica y en aplicar el conocimiento científico existente a la solución de los problemas técnicos vitales para la guerra. Su trabajo se ha desarrollado en el más absoluto secreto y llevado a cabo sin ningún tipo de reconocimiento público; pero sus resultados tangibles se pueden encontrar en los comunicados que proceden de los campos de batalla de todo el mundo. Algún día se podrá contar la historia completa de sus logros.
>
> No existe, sin embargo, ninguna razón por la que las lecciones que se han obtenido con este experimento no puedan emplearse con provecho en tiempos de paz. La información, las técnicas y la experiencia investigadora desarrollada por la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico y por los miles de científicos de las universidades e industrias privadas, debería utilizarse en los días de paz que nos aguardan para la mejora de la salud nacional, la creación de nuevos proyectos que produzcan nuevos empleos, y el mejoramiento del nivel de vida nacional.
>
> Es con tal objetivo en mente que querría tener sus recomendaciones sobre los siguientes cuatro grandes puntos:

Primero: ¿Qué se puede hacer, que sea consistente con la seguridad militar, y que cuente con la aprobación previa de las autoridades militares, para dar a conocer al mundo, tan pronto como sea posible, las contribuciones al conocimiento científico que se han realizado durante nuestro esfuerzo en la guerra?

La difusión de tal conocimiento debería ayudarnos a estimular nuevos proyectos, a proporcionar empleos para nuestros soldados que regresarán y también para otros trabajadores, así como para lograr importantes avances en la mejora del bienestar nacional.

Segundo: En referencia concreta a la guerra de la ciencia contra la enfermedad, ¿qué se puede hacer ahora para organizar un programa para continuar en el futuro el trabajo que se ha realizado en medicina y ciencias relacionadas?

El hecho de que las muertes anuales en este país debidas sólo a una o dos enfermedades sea muy superior al número de vidas que hemos perdido en batalla durante la guerra, debería hacernos conscientes del deber que tenemos con futuras generaciones.

Tercero: ¿Qué puede hacer ahora y en el futuro el gobierno para ayudar a las actividades de investigación realizadas por organizaciones públicas y privadas? Debería considerarse cuidadosamente cuáles deben ser las funciones propias de la investigación pública y privada, y su interrelación.

Cuarto: ¿Es posible proponer un programa eficaz para descubrir y desarrollar el talento científico en la juventud americana, de forma que se pueda asegurar el futuro de la investigación científica en este país en un nivel comparable a lo que se ha realizado durante la guerra?

Delante de nosotros se hallan nuevas fronteras de la mente, y si nos aventuramos en ellas con la misma visión, atrevimiento y determinación con que hemos manejado esta guerra, podremos crear un empleo más completo y fructífero y una vida más completa y más fructífera.

Espero que, tras realizar todas las consultas que estime conveniente con sus asociados y otros, pueda proporcionarme su considerado juicio sobre estos asuntos tan pronto como sea conveniente, informándome sobre cada uno de ellos cuando esté preparado, en lugar de esperar a completar todos sus estudios.

Muy sinceramente suyo

Franklin D. Roosevelt

En pocos lugares como en esta carta se puede encontrar

la grandeza de miras que sin duda albergaba el presidente Roosevelt. No dejó que su mente olvidase que en el futuro habría, o debería haber, algo más que confrontación militar entre potencias, riesgos de guerras, o incluso nuevos enfrentamientos, y que por tanto la investigación científica no debería quedar restringida, o severamente limitada, a la aplicación de sus inmensas posibilidades al ámbito militar. Con su carta a Bush mostró su intención de esforzarse por llevar lo antes y más firmemente posible la ciencia al dominio público. ¡Qué diferente eran sus propósitos de los del encargo del general Arnold a von Kármán!

Bush cumplió con la petición de Roosevelt, produciendo el informe solicitado, que envió al presidente —ya no Roosevelt, que había fallecido, sino a Truman— el 5 de julio de 1945. Al contrario que el informe de von Kármán a Arnold, se hizo público el mismo año bajo el título de *Science, the Endless Frontier. Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research* (*Ciencia, la frontera sin fin. Informe al Presidente sobre un Programa para la Investigación Científica en la Posguerra*).

Me extendería demasiado si intentase resumir las 184 páginas del informe de Bush. Simplemente citaré algunas de sus conclusiones y recomendaciones, que seguían fielmente las líneas marcadas por Roosevelt.

Con respecto a la medicina, Bush señalaba que la «iniciativa y apoyo del gobierno para el desarrollo de nuevos materiales y métodos terapéuticos descubiertos puede reducir el tiempo que se necesita para llevar los beneficios al público», añadiendo que «está claro que si deseamos mantener el progreso en medicina que ha marcado los últimos veinticinco años, el gobierno debería proporcionar apoyo económico a la investigación médica básica en las escuelas de medicina y universidades, mediante ayudas para investigación y para becas. La cantidad que se puede gastar razonablemente durante el primer año no debería exceder los 5 millones de dólares. Una vez que el programa esté en marcha. Tal vez se puedan gastar 20 millones de dólares al año con eficacia».[99]

No olvidaba el director de la OSRD la relación de la ciencia con las Fuerzas Armadas, pero hacía hincapié en la necesidad de que existiese algún tipo de control civil:[100] «Para estar bien preparados militarme, se necesita una organización independiente, controlada por los civiles, que tenga una estrecha relación con el ejército y la Marina, pero con fondos que procedan directamente del Congreso y con el claro poder de iniciar investigaciones militares que complementen y refuercen las llevadas a cabo directamente bajo control del ejército y la Marina».

Con respecto al valor de la ciencia para la industria, escribió unas frases que aún hoy mantienen su vigencia:[101] «Una nación que depende de otras para su nuevo conocimiento científico básico, será lenta en su progreso industrial y débil en su posición competitiva en el comercio mundial, independientemente de su habilidad mecánica».

Y también quiero recordar lo que recomendaba con referencia al ámbito universitario:[102] «Colleges y universidades privadas o públicas y los institutos de investigación deben proporcionar el nuevo conocimiento científico y los investigadores formados... Es sobre todo en estas instituciones en las que los científicos pueden trabajar en una atmósfera que se encuentra relativamente libre de la adversa presión que representa lo convencional, el prejuicio o la necesidad comercial... Si los colleges, universidades e institutos de investigación tienen que cumplir las rápidamente crecientes demandas de nuevos conocimientos científicos procedentes de la industria y el gobierno, su investigación básica debería ser reforzada utilizando fondos públicos».

Al leer con cuidado el informe de Bush (que incluía recomendaciones específicas para los cuatro grupos citados por el presidente), a uno le viene a la mente la pregunta de qué habría sucedido si el presidente Roosevelt no hubiese fallecido y hubiese deseado o podido mantener tras el término de la guerra sus intenciones de llevar la ciencia a la sociedad en la mayor medida posible. La historia es, ya lo sé, reconstrucción de lo que realmente ha sucedido, no de

lo que *pudo haber ocurrido*. Y sobre lo que tuvo lugar en lo referente a la ciencia de la segunda mitad del siglo XX en Estados Unidos, lo que se puede decir es, al menos, que la investigación científica se vio fuertemente condicionada o influida por los deseos, intervención y necesidades militares, como tendré ocasión de volver a repetir más adelante. El «estilo» Arnoldvon Kármán se impuso. Tal vez con Roosevelt habría sido diferente. Nunca lo sabremos.

División de opiniones entre los científicos

Los puntos de vista del informe que von Kármán preparó para el general Arnold sobre el apoyo que la ciencia y la tecnología debería prestar a las Fuerzas Armadas eran representativos de un sector de los científicos e ingenieros estadounidenses, pero no se puede decir que correspondiesen a toda la comunidad de profesionales de la ciencia y la tecnología que vivían y trabajaban entonces en Estados Unidos. Éste es, de hecho, un punto delicado, en tanto que tiene varias facetas. Por un lado están las diferencias existentes entre las opiniones que explícitamente defendían científicos, relativas a su responsabilidad y actitud ante su posible vinculación con investigaciones financiadas por los militares. En general, y enseguida ofreceré algún ejemplo, tales manifestaciones públicas corrían a cargo de científicos establecidos, muchos de ellos veteranos de Los Álamos; profesionales prestigiosos, en suma, que podían permitirse el lujo de arriesgarse a ser marginados en los lucrativos contratos provenientes de las Fuerzas Armadas (en el caso de que mantuviesen posturas críticas ante tal relación). Pero ¿qué pasaba con la mayoría?, ¿con el silencioso ejército de científicos —jóvenes, probablemente— que tenían que abrirse camino constantemente en una cada vez más competitiva profesión?[103] La evidencia —ya mencionada y que continuará apareciendo— de que a partir de 1940-1945 el dinero militar para I+D afluyó con generosidad en Estados Unidos (y por lo que sabemos en otras naciones

también) a las arcas de laboratorios de universidades e industrias muestra bien a las claras que hubo científicos —muchos— que recibieron esos fondos, independientemente de cuáles fueran sus convicciones íntimas.

La cuestión que estoy abordando en este momento constituye, de hecho, un apartado de otra, más general, referente a la militancia político-social de los científicos. Es evidente que éstos como personas tienen sus opiniones y opciones, y no es difícil encontrar ejemplos en los que tales puntos de vista se ponen de manifiesto con particular claridad. Pero no son los casos aislados los que me interesan en este momento, sino algún tipo de respuesta, de enfrentamiento, de toma de postura colectiva por parte de científicos. Y en este aspecto la historia de la ciencia parece indicar que los profesionales de la ciencia no han sido particularmente activos; que sólo raramente y en ocasiones bastante especiales han reaccionado más o menos colectivamente (sin que «colectivamente» quiera decir en esta ocasión, «todos, o casi todos, los científicos»; basta con grupos significativos). En el capítulo 9 nos hemos encontrado con una de esas situaciones: la división entre científicos de las naciones aliadas y de las Potencias Centrales después de la Primera Guerra Mundial. Otro ejemplo posible sería el del «socialismo científico» que floreció en Inglaterra, especialmente en Cambridge y en Londres, durante los años treinta, y que tuvo como exponentes más característicos a John D. Bernal, J. B. Haldane, Lancelot Hogben, Hyman Levy y Joseph Needham.[104] La Segunda Guerra Mundial fue, evidentemente, otra ocasión especial desde todos los puntos de vista, y en este sentido no es extraño que una vez finalizada, cuando era posible pararse y pensar, fueran surgiendo tomas de postura, enfrentamientos incluso.

Como dije antes, no se puede decir que los puntos de vista de von Kármán, en los que también desempeñaba un papel el poder atómico, fuesen aceptados por todos sus colegas estadounidenses. Una forma de comprobar que así fue es a través de Albert Einstein, a quien unía una cierta

amistad con el ingeniero húngaro. El 22 de abril de 1947 Einstein, en su calidad de *chairman* del equipo director del «Emergency Committee of Atomic Scientists» (Comité de Emergencia de Científicos Atómicos; Harold Urey era el *vice-chairman*, y los restantes miembros del equipo, Hans Bethe, T. Hogness, Philip Morse, Linus Pauling, Leo Szilard y Victor Weisskopf; veteranos casi todos de Los Álamos), dirigía la siguiente carta a von Kármán:[105]

> Querido amigo:
>
> Le escribo por sugerencia de un amigo para pedir su ayuda.
>
> Mediante la liberación de la energía atómica nuestra generación ha introducido en el mundo la fuerza más revolucionaria desde que el hombre descubriese, en épocas prehistóricas, el fuego. Este poder básico del universo no se puede acomodar en el anticuado concepto de un nacionalismo estrecho. Ya que no existe secreto y no existe defensa; no existe posibilidad de control, excepto a través de la comprensión e insistencia de los pueblos del mundo.
>
> Nosotros, los científicos, reconocemos nuestra ineludible responsabilidad de enseñar a nuestros conciudadanos a entender los simples hechos de la energía atómica y sus consecuencias para la sociedad. En ello reside nuestra única seguridad y nuestra única esperanza; creemos que una ciudadanía informada actuará para la vida y no para la muerte.
>
> Necesitamos 1.000.000 de dólares para esta gran tarea educativa. Mantenidos por la fe en la capacidad del hombre para controlar su destino mediante el ejercicio de la razón, hemos comprometido toda nuestra fuerza y nuestro conocimiento en este trabajo. No dudo en recurrir a usted solicitando su ayuda.

Acompañaba a la carta de Einstein un impreso en el que se resumían los seis puntos principales del Comité de Emergencia de los Científicos Atómicos, puntos que, se señalaba, sin duda exageradamente, «son aceptados por todos los científicos». Dos de ellos merecen nuestra atención: el número 2, que decía que «No existe defensa militar en contra de las bombas atómicas y no se espera ninguna», y el 4, «Prepararse en contra de la guerra atómica es inútil y, si se intenta, arruinará la estructura de nuestro

orden social».

Si tenemos en cuenta los razonamientos que von Kármán estaba utilizando por entonces en su colaboración con las Fuerzas Armadas, no resulta sorprendente que el cupón de contribución económica a la campaña promovida por Einstein permaneciese sin cortar —y, por tanto, sin enviar— en los archivos de von Kármán, donde todavía hoy se puede contemplar.

La preocupación por las consecuencias de la intervención de la ciencia en el desarrollo militar fue, efectivamente, más intensa entre muchos de los científicos que habían participado en el Proyecto Manhattan. Era difícil, imposible en realidad, encontrar una manifestación más evidente del «poder de la ciencia», del, en este caso, poder destructivo de la ciencia. Pero esa preocupación tampoco fue inmediata. Sólo unos pocos científicos importantes, Einstein, Szilard y Bohr entre ellos, mostraron en 1945 su oposición a que se hubiese utilizado la bomba atómica contra Japón, y no olvidemos a James Franck, que mostró, como ya vimos, su preocupación antes incluso de que se lanzasen las bombas atómicas. Lawrence, Compton y Oppenheimer, los más influyentes de los físicos que habían ayudado a construir la bomba, apoyaron públicamente su lanzamiento. Sin embargo, el tiempo despertó algunas conciencias. En 1947 Oppenheimer declaraba que «los físicos habían conocido el pecado» y que ello representaba «un conocimiento que no podían perder».[106] Lawrence, menos sensible que su colega, contestaba que él «era un físico y que no tenía ningún conocimiento que perder en el que la física [le hubiera] causado conocer el pecado».[107]

El caso de Niels Bohr

Merece la pena detenerse brevemente en el caso de Niels Bohr, debido a la importancia del físico danés.

Al menos desde que se entrevistó en septiembre de 1941 en Copenhague con Heisenberg, Bohr sabía de los esfuerzos alemanes por fabricar bombas nucleares. A finales

de enero de 1943, recibió un mensaje secreto de su colega británico James Chadwick, invitándole a trasladarse a Inglaterra para trabajar en «un problema particular en el que su colaboración constituiría una gran ayuda».[108] Se refería, claro está, al Proyecto MAUD. Si aceptaba, los británicos se encargarían de sacarle de Dinamarca.

Bohr rechazó la oferta, pero en septiembre la situación en Dinamarca cambió. Los alemanes planeaban deportar a todos los judíos que viviesen allí e internarlos en campos de concentración, y todo indicaba que aprovecharían la ocasión para hacer algo que llevaban tiempo posponiendo: detener a Bohr, que consideraban como un enemigo del régimen nazi. Con una deportación en masa, se llamaría, pensaban, menos la atención. De hecho, el 29 de septiembre le llegó la noticia de que su arresto era inminente. La oferta británica se repitió entonces y Bohr la aceptó. Con la ayuda de la resistencia danesa salió de Dinamarca, llegando, vía Suecia, a Escocia el 6 de octubre. Inmediatamente fue trasladado a Londres, donde Chadwick le informó de la situación en que se hallaba el proyecto atómico. La historia de lo que sucedió a partir de entonces es larga y resumiré sus puntos esenciales aquí. Bohr colaboró con los británicos y con los americanos, viajando varias veces a Estados Unidos. Pronto, en el curso de estos movimientos llegó a la conclusión que el poder del arma que se estaba intentando fabricar sería tan grande que sin duda afectaría después de la guerra a las relaciones internacionales, por lo que sería conveniente iniciar conversaciones para controlar en el futuro la proliferación de este armamento y así disminuir el peligro que representaba. «Iniciar conversaciones» quería, obviamente decir, «informar a la Unión Soviética». Acostumbrado como estaba a moverse sin ninguna traba en la comunidad científica internacional, en la que su poder, prestigio e influencias eran casi absolutos, Bohr contactó con diversas personalidades: Lord Halifax, embajador británico en Washington, personas del entorno del presidente Roosevelt, y, entre otros, Felix Frankfurter, juez de la Corte Suprema

de Estados Unidos y un apreciado asesor de Roosevelt, con quien también se entrevistó (el 26 de agosto de 1944).[109] Y no sólo esto, mantuvo una breve relación epistolar con uno de sus viejos amigos de los tiempos de Cambridge y Manchester, Piotr Kapitza, del que se sabía que aunque con problemas debido a su independencia, mantenía relaciones con los líderes comunistas. A finales de octubre de 1943, Kapitza escribió a Bohr una carta que envió a la embajada soviética en Estocolmo al saber que había logrado abandonar Dinamarca, congratulándose de la noticia e invitándole a ir a la Unión Soviética para instalarse allí, donde se pondría a su disposición todo lo que necesitase. Como Bohr se marchó enseguida a Inglaterra, no recibió la carta en Estocolmo, que fue enviada por la delegación soviética a Londres, lo que muestra que los rusos estaban al tanto de sus movimientos. La embajada en Londres entregó la carta al físico, que éste subsiguientemente puso a disposición de los servicios de inteligencia británicos, contestando educadamente a Kapitza pero sin comprometerse a nada.

Uno de los objetivos de Bohr era entrevistarse con los principales líderes políticos —esto es, con Roosevelt y Churchill— y convencerles de sus ideas, para que obrasen en consecuencia. Finalmente, consiguió ver a Churchill el 16 de mayo de 1944, que le recibió acompañado de su asesor científico, Lord Cherwell, esto es, el físico Frederick Lindemann, catedrático en Oxford y experto en bajas temperaturas, aunque especialmente recordado por sus actividades en el campo de la administración y política científicas. El encuentro fue un fracaso total. Bohr tuvo pocas oportunidades de exponer sus ideas, y a Churchill le molestó especialmente saber que el danés había hablado con Felix Frankfurter, informándole de detalles secretos del proyecto nuclear aliado. Es instructivo leer la nota que Churchill envió unos meses después, el 20 de septiembre de 1944, a Halifax, el, recordemos, embajador británico en Washington, con copia a Cherwell. En ella se ve la irritación de Churchill, que no debió comprender qué

pretendía un hombre que se dedicaba a la ciencia. La política era para los políticos, no para advenedizos como los científicos. Éste es el texto de la nota:110

> Primer Ministro a Lord Halifax,
> Embajada Británica
> Washington
>
> Pasar a Lord Cherwell
> Personal, Muy Secreto, Ojos Solamente
>
> El presidente [de Estados Unidos] y yo estamos muy preocupados por el profesor Bohr. ¿Cómo se metió en este asunto? Es un defensor de la publicidad. Proporcionó una información no autorizada al *Chief Justice* Frankfurter, que sorprendió al presidente cuando aquél le dijo que conocía todos los detalles [del Proyecto Manhattan]. Dice [Bohr] que mantiene correspondencia con un profesor ruso, un viejo amigo suyo en Rusia [Kapitza], al que ha escrito sobre el asunto y puede estar escribiendo todavía. El profesor ruso le ha urgido que vaya a Rusia para tratar algunas cosas. ¿De qué va todo esto? Me parece que Bohr debería ser confinado o al menos que se le hiciese saber que está muy cerca de cometer crímenes mortales. No me había dado cuenta de nada de esto antes, aunque no me gustó el tipo cuando me lo presentó, con todo ese pelo por la cabeza, en Downing Street. Hágame saber sus opiniones sobre este hombre.
>
> No me gusta en absoluto.

Seguramente, Bohr también quedó muy sorprendido. No estaba acostumbrado, él que como dije reinaba con supremacía en la comunidad científica internacional, a ser tratado de semejante manera, a que sus ideas no fuesen consideradas en absoluto. En cualquier caso, comprendió. Se dio cuenta de dónde residía el poder. No en la ciencia, no en los científicos, sino en la política y en los políticos. A partir de entonces se dedicó a realizar de vez en cuando manifestaciones de tipo general. Así, el 11 de agosto de 1945, dos días después del lanzamiento de la bomba de plutonio sobre Nagasaki, *The Times* de Londres publicaba un artículo de Bohr titulado «Ciencia y civilización», en el que

señalaba que el «formidable poder de destrucción que ahora está al alcance del hombre puede convertirse en una amenaza mortal a menos que la sociedad humana pueda ajustarse a las exigencias de la situación... Hemos llegado al punto en el que el grado de seguridad que se ofrece a los ciudadanos de una nación mediante medidas colectivas de defensa es enteramente insuficiente... Ningún control puede ser eficaz sin libre acceso a una información científica completa y sin la concesión de la oportunidad de una supervisión internacional de toda empresa que, a menos que sea controlada, puede convertirse en una fuente de desastre».111

El 9 de junio de 1950 Bohr reafirmaba sus ideas en su célebre, pero desde luego nada influyente, «Carta abierta a las Nacionales Unidas».112 «Me dirijo a la organización, fundada con el propósito de promover la cooperación entre las naciones en todos los problemas de interés común», comenzaba su exposición, «con algunas consideraciones relativas a la necesidad de adecuar las relaciones internacionales a los modernos desarrollos de la ciencia y la tecnología. Al mismo tiempo que este desarrollo posibilita grandes promesas para la mejora del bienestar de la humanidad, ha presentado a nuestra civilización con un reto muy serio al colocar en nuestras manos formidables medios de destrucción».

Sin duda su preocupación estaba justificada. Y así, le recordamos por sus esfuerzos y buenas intenciones, por las que recibió algunos reconocimientos públicos, como —el 24 de octubre de 1957— el primer «Atoms for Peace Award» (Galardón Átomos para la Paz) de la National Academy of Sciences estadounidense. No obstante, cuando volvemos la vista atrás, y evaluamos lo que hizo o intentó con el conocimiento crítico que proporciona la historia, nos damos cuenta de que sus esfuerzos no sirvieron en la práctica para mucho. El poder de la ciencia no fue, en su caso al igual que en otros, grande.

Hasta el momento Rusia, o la Unión Soviética, no ha aparecido en mi exposición, pero a partir de ahora ya no es posible prescindir de ella, puesto que, como mínimo, debo referirme a sus logros en el ámbito del armamento nuclear. Sin embargo, antes de entrar en este dominio, y no sólo como introducción sino por su interés intrínseco, trataré de algunos apartados que tienen que ver con la ciencia en la Unión Soviética y con su carismático dirigente (y dictador), Josef Stalin (1879-1953).

El caso de Stalin y la Unión Soviética es bastante diferente a los que he tratado hasta el momento. Si los comparamos con Hitler y Alemania, veremos lo difícil, si no imposible, que es acomodar en un mismo marco cómo vive y se desarrolla la ciencia en estados totalitarios. Y es que los respectivos papeles de la ciencia en Alemania y en la Unión Soviética difieren sustancialmente tanto por la historia previa de ambos países como por la naturaleza de sus ideologías. En cuanto al primer factor, el histórico, hay que tener en cuenta que el pasado científico de Rusia fue mucho menos esplendoroso que el alemán. Fruto de ello es que durante las primeras décadas del siglo XX la motivación principal entre los científicos rusos era la de poder llegar a compararse con sus colegas europeos en lo que a contribuciones al conocimiento «puro» de la naturaleza se refiere; inicialmente no estaban, en consecuencia, interesados, o despreciaban, la «ciencia aplicada», algo que favorecía el que la industria no ofreciese apenas puestos para científicos. Semejante actitud, por cierto, se dio también en otras comunidades nacionales que intentaban mejorar sus aportaciones a la ciencia; el caso, por ejemplo, de España durante el primer tercio del siglo XX.

La Primera Guerra Mundial mostró con dureza y claridad algunas consecuencias de aquella situación. La industria rusa fue incapaz de suministrar las máquinas o productos químicos que se necesitaban (únicamente podía satisfacer menos de la mitad de lo requerido), tal era la

dependencia económica, industrial y científica del exterior, sobre todo de Alemania. Como sucedió en otros países en condiciones similares, esta desventaja hizo que mejorase la situación; así, los puestos de trabajo en la industria química entre 1913 y 1917 pasaron de 33.000 a 117.000.[113] En vista de todo esto, no es sorprendente que, por una parte y como reacción a lo que había sucedido en el pasado, la conexión ciencia-tecnología en la Unión Soviética fuese particularmente fuerte, y, por otra, que sus líderes prestasen especial atención al desarrollo científico. Los bolcheviques apoyaron con fuerza ese desarrollo a través del establecimiento de institutos de investigación, entre otros motivos como un instrumento de control político sobre la ciencia, apartando a la investigación de la, más difícil de controlar y todavía «contaminada» por ideologías no revolucionarias, universidad, de la que en general esos centros eran independientes. En otras palabras, los institutos se adecuaban mejor a sus intereses políticos y burocráticos y así terminaron por convertirse en la institución dominante en la práctica de la investigación científica en la Unión Soviética. Coherente con semejante *ethos* es que fueran organizados y financiados por el gobierno, y que fuesen significativamente más grandes que los existentes en las universidades, lo que hace que contuviesen algunas de las características de lo que más tarde se denominaría *big science* (*Gran Ciencia*).[114]

Desde el punto de vista de la ideología, es bien sabida la importancia de la ciencia para el marxismo, que de hecho pretendía hacer de la historia una ciencia. En una ocasión célebre, el Congreso Internacional de Historia de la Ciencia celebrado en Londres en 1931, el primero al que asistió una delegación soviética, el economista asociado a la Academia de Ciencias Modest Rubinstein, expresó con claridad el papel que se deseaba para la ciencia en el régimen soviético:[115] «La Unión Soviética constituye el primer experimento en la historia humana de la aplicación del análisis y métodos científicos para la construcción consciente de relaciones sociales, para una guía planeada

de la vida económica, así como para dirigir el curso del desarrollo cultural, científico y técnico. La propia existencia y dirección completa del desarrollo de la Unión Soviética está de esta manera conectada con la genuina teoría científica». Y más adelante añadía:116 «La Unión Soviética se ha planteado la tarea de alcanzar y superar económica y técnicamente a los países capitalistas avanzados en el período histórico más breve posible. Las masas de millones de personas de nuestro país están ahora animadas por un entusiasmo desconocido en la historia para dominar la moderna ciencia y técnica, para obtener un conocimiento que les permitirá remodelar el conjunto de la vida y lograr que las fuerzas de la naturaleza se sometan al deseo colectivo de los trabajadores que con tanto esfuerzo laboran. Sólo esto ya muestra la colosal importancia que en la Unión Soviética se da a la actividad creativa en ciencia y tecnología, al trabajo de investigación, y a la difusión del conocimiento entre las masas».

Desde esta perspectiva, la del deseo de los líderes comunistas soviéticos de que la ciencia se convirtiese en un instrumento liberador para la clase trabajadora, no es extraño que se diesen situaciones como la que se produjo durante la revolución cultural que, como parte de la más general revolución social, tuvo lugar entre 1928 y 1932, que incluyó la colectivización de la agricultura y un mayor impulso hacia la industrialización. Fue entonces cuando los «especialistas burgueses», esto es, científicos e ingenieros que aunque habían colaborado con el régimen bolchevique no participaban de sus valores, comenzaron a ser apartados de sus trabajos y perseguidos, buscándose en su lugar especialistas «rojos» que apoyasen sinceramente la ideología y políticas comunistas.

Y en este punto podemos comenzar ya a hablar directamente de Stalin, responsable él mismo de persecuciones o purgas que afectaron también a científicos.

Stalin, verdugo de científicos

Que Stalin fue un hombre cruel es algo en lo que no es necesario insistir. Y entre las víctimas de su crueldad se encontraron también científicos. En lugar de desarrollar yo mismo este apartado, citaré de un magnífico y estremecedor libro que se ocupa de estas cuestiones: *Stalin y los verdugos*, de Donald Rayfield.[117] «Todo lo que no estuviera previsto por Marx y Engels en lo tocante a la ciencia irritaba a los esbirros de Stalin», leemos en esta obra,

> la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica de Max Planck chocaban frontalmente con el materialismo, negaban la infinitud del tiempo y del espacio y distorsionaban la simetría newtoniana del marxismo. Stalin y Andréi Zhdánov —a quien Stalin consultaba sus dudas de filosofía— supieron, con muchísimo tacto por parte de quienes se lo comunicaron, que Einstein y Max Planck eran indispensables para la electrónica moderna y para la explotación de la energía atómica. Mediante denuncias rituales del idealismo burgués, los físicos pudieron proseguir sus trabajos sobre las teorías «burguesas». No obstante, Hans Hellman, físico alemán refugiado en Rusia de la persecución de los nazis, que publicó *Química cuántica* en Rusia en 1937, murió en los campos de concentración; sus colegas, Yuri Rúmer y Nikolái Fuchs, fueron arrestados uno por orden de Yezhov, el otro por orden de Beria. Lev Termén, el pionero de la televisión... fue condenado al gulag en julio de 1938. Tres brillantes cerebros de la física teórica, como fueron Matvéi Bronshtéin, S. P. Shubin y Alexandr Vitt, fueron ajusticiados o murieron en los campos de concentración en 1938. El profesor Iván Bashilóv, el único científico capaz de refinar el radio a partir del uranio en la URSS, fue detenido en julio de 1938 y condenado a cavar zanjas en torno a la refinería de radio que él mismo había ideado. Como la planta no pudo funcionar sin él gestionada por el NKVD [Comisariado del Pueblo para Asuntos Internos], Bashílov regresó en calidad de prisionero a su propio laboratorio... En el terreno de la medicina y la biología, las cosas en la URSS fueron mucho peor que en el campo de la física. La profesión médica soviética había caído en desgracia por completo, no tanto cuando el profesor Dmitri Pletniov fue condenado a veinticinco años por el presunto asesinato de Gorki y de su hijo, sino más bien cuando los discípulos de Pletniov, los doctores Vladímir Vinográdov y Méer Vovsi quedaron deshonrados al testificar que Pletniov era, en efecto,

un asesino.

Aquí Rayfield se refiere a la conocida como «conjura de los médicos», que no se puede entender sin tener en cuenta su dimensión de intento de purgar a médicos judíos de la profesión.

También está el caso del matemático Nikolai Nikolaevich Luzin (1883-1950), cuyos trabajos más importantes pertenecen a los dominios de la teoría de funciones y de la medida, topología de conjuntos y fundamentos de matemáticas, y que, a pesar de ser desde1927 miembro de la Academia de Ciencias, fue expulsado de su cátedra en la Universidad de Moscú como consecuencia de las críticas que recibió por militantes comunistas por publicar sus trabajos matemáticos más importantes en el extranjero y no mostrar la adecuada ideológica, o interés en ella.118 Sin embargo, es preciso señalar que Luzin no fue expulsado de la Academia de Ciencias, aunque su influencia allí desapareció, y que sus estudiantes continuaron prosperando. El hecho de que tuviese que abandonar la universidad pero no la Academia muestra que aquélla era más fácilmente susceptible de presiones ideológicas, mientras que la Academia no.

Otro caso famoso es el del extraordinario físico teórico Lev Landau (1908-1968), que fue encarcelado en 1938 bajo la ridícula acusación de la policía de ser un espía alemán, pero al que Piotr Kapitza (1894-1984) consiguió liberar en abril de 1939, cuando Landau —que en 1962 recibió el premio Nobel de Física por su teoría sobre el helio líquido — se encontraba en un estado de malnutrición que casi le produjo la muerte.

Kapitza, con quien ya nos encontramos, también premio Nobel de Física, en 1976, trabajaba en Rusia porque había sido retenido en 1934, aprovechando una de las visitas que realizaba a su patria para pasar las vacaciones. Y es que aunque era ciudadano soviético se encontraba desde 1921 en Cambridge, en el Laboratorio Cavendish, donde protegido por Rutherford había llegado a ocupar una cátedra gracias a sus investigaciones en campos magnéticos

de gran intensidad y bajas temperaturas. El que fuese retenido constituye, de hecho, una muestra del interés que las autoridades comunistas tenían por la ciencia, hasta el punto de arriesgarse a serios conflictos diplomáticos. Su caso proporciona el mejor y más conocido ejemplo de científico que se atrevió a llamar la atención de Stalin, lográndolo, algo para lo que, ciertamente, se requería valor personal. En el asunto Landau, Kapitza escribió a Stalin, el 28 de abril de 1938, inmediatamente después de que fuese detenido. «Esta mañana», comenzaba la misiva, «L. D. Landau, un científico de este Instituto, fue arrestado. Aunque sólo tiene veintinueve años, él y Fock son los físicos teóricos más importantes de la Unión Soviética. Sus artículos sobre el magnetismo y la teoría cuántica son citados con frecuencia en la literatura científica, tanto aquí como en el extranjero».[119] Y terminaba con la siguiente solicitud:[120]

> 1) ¿No sería posible llamar la atención de la NKVD acerca de lo muy deseable que sería acelerar el caso de Landau?
> 2) Si esto no es posible, ¿acaso no se podría utilizar el cerebro de Landau para la investigación científica mientras esté en la prisión de Butyrki? He sabido que este procedimiento ha sido seguido en el caso de ingenieros.

El caso Lisenko

Un caso especialmente célebre y que se ha utilizado para mostrar las limitaciones del sistema soviético en la relación de éste con la ciencia es el de Trofim Lisenko (1898-1976), un escasamente educado agrónomo que alcanzó fama en la década de 1930 cuando algunos periódicos elogiaron sus supuestamente eficaces nuevos métodos para mejorar las cosechas. De hecho, al principio también le apoyaron genéticos distinguidos como Nikolai Vavilov, pero pronto Lisenko se volvió en contra de los conceptos y teorías de la genética clásica. En el ya citado *Stalin y los verdugos*, de Donald Rayfield, se explica su

historia de la siguiente manera:

> La biología murió con la colectivización. Desesperado por restablecer la producción de cereales tras la liquidación en masa de los kulaks, Stalin creyó —o fingió creer— en los milagros. Se hicieron desastrosos experimentos para criar conejos —la raza de cría había perecido, devorada por los campesinos hambrientos—, e incluso canguros: en AskaniaNova, en Ucrania, los zoólogos trataron de domesticar antílopes africanos; en el norte llegaron a enjaezar a los alces para arar. La solución más enloquecida de todas mereció toda la atención de Stalin: Trofim Lisenko, un campesino ucraniano con un diploma en horticultura, afirmó disponer del secreto necesario para que los cereales se adaptasen a los terrenos menos fértiles y a los climas más adversos. Lisenko había revivido la teoría evolutiva de Jean-Baptiste Lamarck, quien defendía que la evolución se produce debido a ciertos cambios en las pautas de comportamiento que se transmiten a la progenie de los individuos que las experimentan...
>
> La genética moderna se descartó de plano y se tildó de contrarrevolucionaria. A Lisenko se le premió con un doctorado y se le nombró miembro de la Academia: su poder fue más duradero que el de Stalin, y se encargó de arruinar por completo la agricultura soviética.
>
> Peor aún fue que los contados biólogos que se atrevieron a denunciar a Lisenko por charlatán fueran detenidos, acusados de sabotaje. (A juzgar por los comentarios burlones que anotaba Stalin en los artículos de Lisenko, él mismo era consciente de que se trataba de un farsante.) Un genetista internacionalmente aclamado por sus trabajos en la materia, Nicolás Vavilov, fue acusado de espionaje. Vavilov preparó muestras de microscopio de una serie de cromosomas cuya existencia Lisenko negaba de plano.

Siendo verdad todo esto, que Lisenko se impuso a Vavilov, se puede contemplar también desde el punto de vista diferente, no menos nocivo pero sí algo más compasivo. El de que Stalin no despreciaba a la ciencia, sino que estaba interesado en ella, aunque en biología creía en el ya superado (desde Darwin al menos) sistema lamarckiano, muy probablemente porque éste se ajustaba mejor a las tesis marxistas. La ideología contaminaba las

creencias científicas, pero no invalidaba la fe en la propia ciencia. Y el poder político del que disponía Stalin impedía, o limitaba muy severamente, una evaluación independiente, dentro de la comunidad de los profesionales, de alternativas científicas.

Una muestra del interés y opiniones de Stalin en estas cuestiones es la carta que envió a Lisenko el 31 de octubre de 1947, en la que mostraba que poseía conocimientos acerca de los problemas de la tecnología agronómica pero no sobre la teoría de la selección:[121]

> Estimado Trofim Denisovich,
>
> Me alegra saber que por fin has prestado la atención adecuada al asunto del trigo ramificado. Indudablemente, si queremos aumentar sustancialmente la cosecha de trigo, el trigo ramificado tiene una gran importancia dado que contiene el mayor potencial para lograr dicho objetivo.
>
> Es una pena que no hayas intentado cultivar ese trigo en su ambiente «adecuado» sino que lo hayas hecho en unas condiciones que te convenían a ti, como investigador. Este trigo es una variedad del sur y necesita algo de luz y suficiente humedad. Si no se dan estas circunstancias, es difícil percibir con claridad todo su potencial. Yo, en tu lugar, no habría experimentado con trigo ramificado en el distrito de Odesa (¡es demasiado árido!) o cerca de Moscú (¡muy poco sol!), sino que, por ejemplo, lo habría hecho cerca de Kiev o en Ucrania Occidental, donde hay suficiente sol y la humedad está garantizada. De todos modos te felicito por tu experimento en los distritos de las afueras de Moscú. Puedes contar con el gobierno para que apoye tu empresa.
>
> También doy la bienvenida a tu iniciativa de la hibridación del trigo. Desde luego se trata de una idea muy prometedora. No hay duda de que las perspectivas para las actuales variedades de trigo no son muy buenas y la hibridación podría ayudar algo.
>
> Pronto hablaremos en Moscú sobre la producción de plantas de caucho y la siembra de trigo en invierno.
>
> En cuanto a la situación de la biología en el ámbito teórico, pienso que la postura de Michurin es la única que realiza un enfoque científico válido. Los weissmanistas y sus seguidores, que niegan la herencia de las características adquiridas, no merecen entrar en el debate. El futuro pertenece a Michurin.
>
> Un saludo,

Como escriben Zhores y Roy Medvedev, «Lisenko sacó el mayor partido a esta carta reivindicando una amistad con Stalin que en realidad no existió. Nunca se vieron excepto con motivo de asuntos de carácter oficial. Stalin tampoco invitó nunca a Lisenko a su dacha. Pero el hecho de que Stalin fuese un lamarkiano convencido era lo que básicamente proporcionaba invulnerabilidad a Lisenko».[122] Y así, en agosto de 1948 la Academia Soviética de Ciencias Agrícolas dictaminó, tras un intenso debate, que, como el historiador Alexei Kojevnikov ha mostrado, no puede reducirse a una mera asimilación de las opiniones de Stalin, en contra de la genética clásica y a favor de la lisenkoiana, en lo que significó el mayor golpe en contra del avance de la biología, ciencias y técnicas agronómicas no sólo de la historia soviética sino, asimismo, probablemente de toda la historia de la humanidad.[123]

El proyecto nuclear en la Unión Soviética

Poco después de que Estados Unidos lanzase sus bombas atómicas sobre Japón, la Unión Soviética comenzó urgentemente un programa nuclear destinado a fabricar sus propias bombas.[124] Aunque, como veremos, hubo que improvisar en algunos apartados, ayudó el que en la década de 1925 a 1935 tuviesen lugar contactos relativamente frecuentes entre físicos occidentales y soviéticos.[125] Es representativa en este sentido la VI Conferencia de Física celebrada en agosto y septiembre de 1928 en varios lugares de la Unión Soviética. Organizada por Abram Fedorovich Ioffe (o Joffe), con el que nos volveremos a encontrar enseguida, asistieron a la conferencia los siguientes físicos occidentales: Léon Brillouin (Francia), Gilbert N. Lewis (Estados Unidos), Paul A. M. Dirac y Charles G. Darwin (Gran Bretaña) y Max Born, Ernst Pringsheim, Karl Scheel, Robert W. Pohl, R. Ladenburg y Peter Debye (Alemania). Hacia 1930 existía en la Unión Soviética una generación de físicos realmente notables: Igor Tamm, Yakov Frenkel, Lev Landau, Dmitri Iwanenko y Vladimir Fock y pronto llegarían otros como Yakov Zeldovich, Isaak Pomenranchuk y Nicolai Bogoliubov.

En el ámbito de la física atómica, y en general de las ciencias físicas, una gran parte del indudable progreso experimentado en la Unión Soviética, progreso del que la fabricación de la bomba atómica es muestra, está relacionado con el Instituto Físico-Técnico de Leningrado dirigido por Ioffe. Aunque no fue un científico del calibre de Rutherford, Bohr, Oppenheimer o Lawrence, sí que tuvo la habilidad de rodearse de jóvenes físicos prometedores, y de apoyarles y estimularles. En diciembre de 1932, cuando terminaba el *annus mirabilis* de la física nuclear, había establecido dentro del Instituto una pequeña sección destinada al estudio del núcleo atómico. Del 24 al 30 de septiembre de 1933 varios miembros del centro (Fock,

Iwanenko, Tamm y el especialista en rayos cósmicos Dmitri Skobeltzyn) se encargaron de organizar la primera Conferencia Soviética de Física Nuclear, en la que la mitad de las contribuciones corrió a cargo de científicos extranjeros (Dirac, Francis Perrin, Guido Beck, Victor Weisskopf y Otto Frisch). En 1934 ya existían cuatro grupos dentro del Instituto dedicados a la física nuclear, en los que trabajaban gran parte de los futuros líderes del proyecto nuclear soviético, incluyendo a Igor Kurchatov, que sería nombrado en 1942 director del programa nuclear encaminado a la fabricación de la bomba atómica. Otros centros de Leningrado eran el Instituto del Radio, que contó con el primer ciclotrón europeo, que comenzó a funcionar parcialmente en 1937 (el mismo año que, como ya mencioné, se construía uno en el Cavendish), y el Instituto de Química-Física dirigido por Nikolay Semenov, que recibiría el premio Nobel de Química en 1956 por los trabajos que realizó en la década de los treinta sobre cinética de las reacciones químicas (la existencia de la escuela de Semenov —de la que era miembro Zeldovich— fue muy importante para establecer las condiciones de una reacción nuclear en cadena en el uranio). Y existían otros centros fuera de Leningrado. Estaba el Instituto FísicoTécnico Ucraniano de Kharkov, establecido en 1928 por un grupo de científicos de la escuela de Ioffe y en el que, entre otros, trabajó Landau. En el Instituto de Kharkov se repitió, por primera vez en Europa, el experimento de Cockcroft y Walton, mediante el cual se desintegró el átomo artificialmente.

En Moscú, el principal centro fue el Instituto Lebedev de la Academia de Ciencias (que antes había estado situado en Leningrado), dirigido por Sergei Vavilov. En él se efectuó un importante descubrimiento, el efecto Cherenkov, que reportó el premio Nobel de Física de 1958 a P. A. Cherenkov, I. M. Frank y I. Ye. Tamm. Al igual que Ioffe, Vavilov se interesó por la física nuclear, logrando que la Academia de Ciencias, la institución más importante de la ciencia soviética, organizase a finales de 1938 una comisión

permanente sobre el núcleo atómico, que en junio de 1940 dejaría su puesto a una Comisión del Uranio. Las noticias que llegaron en febrero de 1939 del descubrimiento de la fisión reforzaron esta línea de investigación, que a partir de entonces no fue descuidada en la Unión Soviética.

Bajo el empuje de Zeldovich y Yu. B. Khariton, el conocimiento de un elemento tan esencial para controlar la energía nuclear como es la reacción en cadena avanzó considerablemente entre 1939 y 1940, habiéndose llegado a afirmar, probablemente con cierta exageración, que si no hubiese sido por la guerra, que lanzó al gobierno de Estados Unidos a implementar un gran programa nuclear, la primera reacción en cadena controlada habría tenido lugar en la Unión Soviética y no en Chicago.126

Una de las contribuciones de Khariton y Zeldovich es que se plantearon las mismas preguntas que se habían formulado Frisch y Peierls: ¿cuánto uranio-235 puro se necesitará para construir una bomba?, o lo que es lo mismo ¿cuál será la masa crítica? En un artículo que enviaron en 1941 a *Uspekhii fizicheskikh nauk* señalaban: «para producir una reacción en cadena en uranio liberando cantidades de energía tremendas, sería suficiente con aproximadamente 10 kilogramos de uranio-235 puro». Pero la guerra comenzó antes de que se publicase el artículo, que no aparecería hasta cuarenta años más tarde. (La estimación de Khariton y Zeldovich era un orden de magnitud superior a la de Frisch y Peierls, que daban la cifra de 1 kilogramo. Al igual que éstos, los soviéticos pensaban que el uranio-235 debería ser comprimido mediante explosivos convencionales.)

El que la investigación nuclear no fuese descuidada no quiere decir que se adjudicase una atención preferente, con fines militares, a las investigaciones atómicas. No parece que los líderes políticos fuesen conscientes del valor potencial de la física nuclear, un valor que sí conocían los físicos soviéticos, como demuestra un informe presentado en agosto de 1940 a la Academia en el que se hacía hincapié en la utilidad militar de la fisión; también Semenov resaltó el mismo punto en sus contactos con el

gobierno. Éste, sin embargo, estaba a comienzos de la década de los cuarenta más preocupado por reforzar lo más rápidamente posible la defensa nacional, es decir, en medidas que prometiesen éxito a corto plazo, que en ambiciosos programas de investigación y desarrollo.

El ataque de Alemania a la Unión Soviética significó la evacuación de los institutos científicos de Moscú y Leningrado, que terminaron agrupándose, junto a centros procedentes de otras disciplinas y lugares, en Kazan y en las ciudades industriales de los Urales. Allí los científicos soviéticos pasaron a ocuparse de los problemas más urgentes de la guerra, como el radar y la protección de los barcos contra las minas, temas a los que se dedicó, por ejemplo, el Instituto de Ioffe, ahora en Kazan.

La reanudación de las investigaciones nucleares soviéticas se debió en gran medida a la insistencia y perspicacia de Georgi Nikolaevich Flerov, un investigador de uno de los cuatro grupos nucleares del Instituto de Ioffe, que en 1940 había realizado, junto a Lev Rusinow, experimentos que mostraron que se emiten más de dos neutrones durante la fisión de un núcleo de uranio, y que en colaboración con Konstantin Petrzhak descubrió (también en 1940) la fisión espontánea; esto es, fisión sin bombardeo de neutrones, que aunque había sido predicha por Frenkel, Bohr y Wheeler, no había sido observada. En noviembre de 1941, Flerov, que estaba destinado a la Fuerza Aérea, se dirigió al Comité de Defensa del Estado señalando la importancia del problema del uranio. A pesar de que sus llamamientos no tuvieron éxito inicialmente, Flerov continuó con sus ideas. En febrero de 1942 fue destinado a la base aérea de Voronezh. Allí pudo visitar la biblioteca de la universidad. Quería ver qué respuesta había tenido en la literatura internacional, en la norteamericana especialmente, su descubrimiento de 1940, del que además había publicado una pequeña nota en *Physical Review*. En su búsqueda bibliográfica, Flerov se encontró no sólo con que su trabajo no había sido comentado, sino con que los nombres de Fermi, Szilard, Teller, Wheeler, Wigner y otros

físicos nucleares habían desaparecido de las publicaciones. No era difícil concluir que la investigación nuclear en Estados Unidos había pasado a ser un campo secreto. Inmediatamente, redactó una carta para Stalin, en la que señalaba que era preciso «no perder tiempo para fabricar una bomba de uranio».

Al mismo tiempo que se producían estos desarrollos científicos, tenían lugar otros, pero en el campo del espionaje.

Como hemos visto, en 1941 científicos británicos habían progresado más que ningún otro colectivo nacional en las principales ideas que subyacían a la construcción de una bomba atómica. Ese mismo año, el gobierno soviético comenzó a recibir información de los progresos británicos. El 25 de septiembre (1941), Anatolii Gorskii (nombre en clave, Vadim), un miembro del Comisariado del Pueblo de Asuntos Internos (el, recordemos, NKVD) que residía en Londres, transmitió información acerca de la reunión secreta que había tenido lugar nueve días antes para discutir el informe MAUD. Gorskii enumeró varios puntos importantes sacados en aquella reunión: que era muy posible que la bomba estuviese lista en dos años; que se preveía que la detonación nuclear fuese equivalente a la explosión de 1.600 toneladas de TNT; que Imperial Chemical Industries había recibido un contrato para producir hexafluoruro de uranio. Ocho días más tarde, Gorskii informaba que había recibido una copia completa del informe preparado para el Departamento de Guerra. El gobierno soviético sabía ahora que Gran Bretaña había decidido dar los pasos necesarios para fabricar bombas atómicas y que se iba a centrar en el procedimiento de difusión gaseosa para separar el uranio-235 del uranio-238.

La fuente de la información fue muy probablemente, el «Quinto hombre» de los «Cinco de Cambridge», John Cairncross, que había sido reclutado por Gury Burgess mientras era un estudiante en Cambridge en los años treinta, y que había entrado en el Foreign Office, pasado al Tesoro, y de ahí, en 1941, a secretario privado de Lord

Hankey, ministro sin cartera en el Departamento de Guerra y *chairman* del Comité Asesor en Ciencia del gabinete; como tal había estado encargado de recibir el informe MAUD.[127] (No es probable que la fuente fuese Klaus Fuchs, que también estaba suministrando información por entonces. Fuchs había sido un comunista activo en Alemania, trasladándose a Inglaterra en 1933 para evitar ser detenido. Después de completar su doctorado en física en la Universidad de Bristol y trabajar un tiempo en Edimburgo, fue invitado a Birmingham por Peierls. Una vez que se le declaró «seguro» comenzó a trabajar en la teoría del método de difusión gaseosa, además de en el tamaño crítico y eficiencia de la bomba. Después de la invasión alemana de la Unión Soviética, Fuchs decidió informar a los soviéticos de la bomba.)

Sin embargo, la información proporcionada por Gorskii no tuvo ningún efecto inmediato en la política soviética. El motivo es que llegó a Moscú menos de un mes antes del gran pánico de mediados de octubre, cuando la mayor parte del gobierno fue evacuado a Kuibyshev y miles de personas abandonaron la capital.

No fue hasta marzo de 1942 que los líderes soviéticos reaccionaron ante las informaciones que llegaban de la Unión Soviética. Beria, desde 1941 presidente del Consejo de Ministros, informó a Stalin y al Comité de Defensa Estatal. En mayo se tomó la decisión de reanudar las investigaciones nucleares, siendo nombrado Igor Kurchatov (1903-1960) director del proyecto.[128] A finales de año, el Comité de Defensa del Estado emitía un decreto por el que se establecía un laboratorio nuclear dentro de la estructura de la Academia de Ciencias.

Como ha señalado David Holloway, la decisión soviética de embarcarse en un proyecto sobre investigaciones nucleares, uno de cuyos fines era la producción de armas atómicas, es en principio sorprendente ya que fue tomada en uno de los peores momentos de la guerra, cuando Leningrado sufría un angustioso asedio. No se esperaba en modo alguno que el programa nuclear

constituyese una ayuda. Incluso Flerov había señalado en su carta a Stalin que los trabajos para producir la bomba podían tardar alrededor de una docena de años. Y Kurchatov, que antes de la guerra había figurado entre los más ardientes defensores de las investigaciones nucleares, había cesado en sus intentos al comenzar la guerra, convencido de que existían otras tareas más urgentes. La explicación más probable reside en el panorama político internacional que Stalin y las autoridades soviéticas manejaban en aquel momento. No se esperaba que Alemania fuese derrotada, vislumbrándose una tensa posguerra en la que las grandes potencias, Alemania, Estados Unidos y Gran Bretaña, se encontrasen, por decirlo de alguna manera, «al acecho». En tal situación, disponer de bombas atómicas sí que podría marcar la diferencia, y resultaba que todo indicaba que esas mismas potencias ya estaban inmersas en programas nucleares encaminados a la fabricación de esas armas. La Unión Soviética no quería llegar a ese momento en una situación de indefensión. En consecuencia, fue la percepción del peligro de proyectos atómicos de otros países lo que impulsó a los soviéticos, algo muy parecido, como vimos, a lo que ocurrió en Estados Unidos, donde se creía que Alemania podía estar cerca de disponer de tales armas.[129]

En febrero de 1943, a instancias de Pervukhin, comisario de la Industria Química durante la guerra, y de Kurchatov se creó el proyecto nuclear soviético, estableciéndose un laboratorio en el que se concentraría toda la investigación nuclear. De nuevo, Kurchatov fue nombrado director.

La decisión de iniciar el proyecto nuclear soviético se tomó cuando se estaba librando la batalla de Stalingrado (los alemanes se rendirían el 2 de febrero). No es sorprendente que en aquellas condiciones, el proyecto soviético fuese pequeño; nada comparable al megaproyecto americano.

En febrero de 1943, Kurchatov no estaba seguro de que se pudiese construir una bomba atómica, o, si se pudiese,

cuánto se tardaría. Y así se lo dijo a Molotov, comisario de Asuntos Exteriores. «Entonces decidí», recordó Molotov en sus memorias, «darle todos los informes que habíamos recibido. Kurchatov se sentó en mi oficina durante varios días estudiando todos aquellos materiales. Era algún tiempo después de la batalla de Stalingrado.» Y es que, por mucho que nos pueda sorprender, no hay evidencias de que algún científico soviético hubiese visto aquel material, que tanto impresionó a Kurchatov. Los soviéticos pensaban que el método de separación centrífuga era el más adecuado para separar los isótopos de uranio. Ahora leía que los británicos tenían buenas razones para inclinarse por la difusión gaseosa, del que los informes ofrecían numerosos detalles, hasta el punto de que permitía reconstruir de manera completa los planes de la máquina y la fábrica. La investigación británica demostraba que la difusión gaseosa no sería muy eficiente ya que requería enormes cantidades de energía.

Otra de las secciones de los informes ofrecía importantes indicaciones, como que era posible lograr la reacción en cadena con una mezcla de uranio y agua pesada, algo que no podían probar porque no poseían cantidades importantes de agua pesada.

Los soviéticos no habían realizado ningún trabajo sobre el plutonio, y Kurchatov sabía que no podrían embarcarse en estas investigaciones durante algún tiempo, probablemente hasta 1944, hasta que pudieran restaurarse los ciclotrones que habían tenido que desmantelar debido a la guerra. Era, por tanto, muy importante obtener más información de Estados Unidos. Kurchatov enumeró (marzo de 1943) cuatro cuestiones: ¿fisiona el elemento 94 con neutrones rápidos o con lentos?; si lo hace, ¿cuál es su sección eficaz (para neutrones rápidos y lentos, por separado)?; ¿tiene lugar fisión espontánea en el plutonio, y cuál es la vida media con respecto a este proceso?; y ¿qué transformaciones experimenta el plutonio a lo largo del tiempo? Kurchatov suministraba una lista de laboratorios de Estados Unidos en los que probablemente se podría

obtener esta información. El Radiation Laboratory de Berkeley ocupaba el primer lugar.

Obviamente, al recibirse las noticias del lanzamiento de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki, la decisión soviética de fabricar sus propias bombas se vio reforzada. Nada más regresar de Potsdam, Stalin llamó al Kremlin al Comisario del Pueblo para Municiones, Boris L'vovich Vannikov, y a sus principales colaboradores. Kurchatov también estaba presente. «Sólo quiero pedirles una cosa, camaradas», dijo Stalin, «proporciónennos armas atómicas en el más breve tiempo posible. Saben que Hiroshima ha sacudido a todo el mundo. Se ha destruido el equilibrio. El disponer de la bomba eliminará un gran peligro sobre nosotros.»130

Según el historiador Simon Sebag Montefiore, en su libro *La corte del zar rojo*, «Stalin se dio cuenta entonces de que el proyecto era la cosa más importante en ese momento. La operación llevaba el nombre cifrado de "Tarea Número Uno", y sería elaborada "a escala rusa" por el "Comité Especial" de Beria, que funcionaba como una especie de "Politburó atómico". A los científicos había que halagarlos y amenazarlos. Los premios y los lujos adquirían una importancia vital: "Es perfectamente posible que varios miles de personas vivan muy bien, o incluso mejor que bien"».131 Beria se lanzó a trabajar en la Tarea Número Uno «como si su vida dependiera de ello. El proyecto tenía una escala verdaderamente soviética, pues Beria dirigía entre 330.000 y 460.000 personas, y a 10.000 técnicos. Beria era una excelente empresario del terror, capaz de decir a uno de sus directivos: "Eres un buen trabajador, pero si hubieras estado metido seis años en un campo de concentración, trabajarías todavía mejor"».

En un discurso público que pronunció en 1946, Stalin ofreció a los científicos un eslogan que aunque indirectamente se refería a la bomba atómica, se puede y debe aplicar al conjunto de la investigación científica, y al deseo que se apoderó de él a partir de entonces de emular y superar a su gran enemigo político, Estados Unidos:

«*Dognat' i peregnat*», esto es, «Alcanzar y superar», es lo que dijo entonces. Cuando el 4 de octubre de 1957, la Unión Soviética puso en órbita el primer satélite construido por el hombre, el «Sputnik», se supo que, al menos en parte, aquel eslogan se había hecho realidad.

Antes, el 3 de septiembre de 1949, en una de las muestras que uno de los aviones B-29 que la Fuerza Aérea estadounidense utilizaba para analizar el aire sobre Japón, Alaska y el Polo Norte, se encontraron, sobre el Pacífico Norte, cerca de Japón, evidencias de que se había producido la primera explosión nuclear soviética. Había tenido lugar el 29 de agosto («Joe 1», la denominaron los norteamericanos). La ciencia, ciertamente, había podido sobrevivir bajo el implacable régimen de Stalin.

Ahora bien, es conveniente darse cuenta de que tomado en su conjunto el programa nuclear soviético fue más lento que el norteamericano. En 1945 los físicos nucleares de la URSS ya tenían una considerable experiencia y, sin embargo, aún tardaron cuatro años en fabricar la bomba. Una de las razones que explican este retraso se encuentra en la diferente capacidad industrial de ambas naciones. Con gran frecuencia los científicos soviéticos se encontraban solos frente a sus necesidades, sin el recurso de pedir auxilio a una industria que tenía que servir a otros propósitos en los duros años de la posguerra, en los que, además, se intentaba consolidar un sistema de producción completamente diferente del occidental.[132]

Poco antes de que «Joe 1» explotase, en 1948, los comunistas checoslovacos habían dado un golpe de Estado, amparándose en el Ejército Rojo, reemplazando el anterior gobierno por uno sometido a Moscú. También en 1948, los rusos intentaron aislar a los aliados occidentales bloqueando todas las rutas terrestres hacia Berlín.

La bomba de hidrógeno

La explosión de la primera bomba atómica soviética significó el comienzo real de la *carrera atómica*. En Estados

Unidos, Ernest Lawrence y Edward Teller defendieron la idea de que había que contraatacar desarrollando una nueva arma que pudiese contrarrestar la de los soviéticos; fabricar una superbomba, mucho más poderosa que las de 1945, una bomba de hidrógeno, esto es, de fusión, que utilizase procesos similares a las reacciones termonucleares que tienen lugar en el interior de las estrellas, en las que partiendo de elementos ligeros se producen otros más pesados, emitiendo al mismo tiempo grandes cantidades de energías.[133] Aunque la idea de tal bomba se remontaba a los primeros tiempos del proyecto atómico durante la guerra,[134] no se había avanzado en su desarrollo al no establecerse un programa adecuado (no obstante, los soviéticos ya se habían embarcado en el proyecto desde 1948).[135]

Sin embargo, en 1949 la comunidad científica norteamericana no estaba tan unida como lo había estado cerca de diez años antes. Se produjo una clara división de puntos de vista. Oppenheimer se opuso, lo que a la postre terminaría llevando a que la Atomic Energy Commission (la organización civil que pasaría a asumir en enero de 1947 el control de los asuntos nucleares en Estados Unidos, al dejar de existir el Manhattan Engineer Districy) le declarase un riesgo para la seguridad en 1953-1954, negándole, como veremos enseguida, acceso a los secretos atómicos. Por el contrario, Lawrence desarrolló una intensa campaña en favor de la nueva bomba, visitando personalmente la Atomic Energy Commission (AEC), el Comité Conjunto de Energía Atómica, el Departamento de Defensa y hasta el Congreso. A partir de la posguerra, y especialmente en Estados Unidos, la *Gran Ciencia* (casi toda con aplicaciones militares) era ya una cuestión de Estado y como tal debatida en todo tipo de foros. Lejos estaban ya los tiempos en que prácticamente todo quedaba a merced de las iniciativas de los propios científicos, o de sus mecenas, los Siemens, Carnegie o Rockefeller. Por su parte, Teller realizó en 1950 un agresivo llamamiento a sus colegas con el título de «Vuelta a los laboratorios», en el que comparaba la

situación internacional producida por la bomba nuclear soviética con la existente en 1939.136 Para el físico húngaro la decisión del empleo de una bomba como la de hidrógeno era responsabilidad de los políticos, no de los científicos. En su opinión, el hombre de ciencia no era «responsable de las leyes naturales. Su trabajo es averiguar cómo operan esas leyes. El trabajo del científico consiste en encontrar la manera como estas leyes pueden servir a la voluntad del hombre. En cambio no es su tarea determinar si una bomba de hidrógeno debe construirse, ni cuándo o cómo debe usarse». En una clara alusión a las actividades en las que se ocupaban entonces otros físicos (como Pauli), Teller añadía que «nuestra comunidad científica ha estado en luna de miel con los mesones. Las vacaciones se han terminado. Las bombas de hidrógeno no se construyen por sí solas».137

Para entender mejor la situación reinante en aquel momento, además de las relaciones de Estados Unidos con la Unión Soviética hay que tener en cuenta también que en 1949 los comunistas se hacían con el poder en China, bajo el liderazgo de Mao Tse Tung. Estos acontecimientos llevaron al Consejo de Seguridad Nacional estadounidense a defender la tesis de que Estados Unidos se enfrentaba a un período de máximo peligro y que para su seguridad debía procederse a un completo rearme, recomendando al presidente que se aprobase un presupuesto de entre 100 y 200 millones de dólares para la fabricación de la superbomba. El 31 de enero de 1950 Truman aprobaba la propuesta. Ese mismo día el presidente efectuaba la siguiente declaración pública:138 «Es parte de mi responsabilidad como comandante en jefe de las Fuerzas Armadas asegurar que nuestra nación sea capaz de defenderse frente a cualquier posible agresión. En consecuencia he dado instrucciones a la Comisión de Energía Atómica para que continúe sus trabajos en todas las formas de armas atómicas, incluyendo la denominada de hidrógeno o superbomba». Dos años y nueve meses después, Estados Unidos hacía explotar una bomba (*Mike*) 1.000 veces más potente que las de 1945. Tres años y pocas

semanas después, los soviéticos hacían estallar su *Mike*, en Asia central.

Con la orden de Truman, los presupuestos del programa nuclear estadounidense se dispararon. La siguiente tabla, que muestra los gastos del programa entre 1947 y 1952, permite apreciar el cambio cuantitativo que tuvo lugar a partir de 1949.

GASTOS EN EL PROGRAMA DE ENERGÍA ATÓMICA (1947-1952) (EN MILLONES DE DÓLARES)[139]

	Investigación		*Construcción de plantas nucleares*		*Producción*
1947	24,5		59,1		167,4
1948	53,4		134,4		141
	Material fisionable	*Armas*	*Desarrollo de reactores*	*Investigación en física*	*Invest. medicina*
1949	110,6	92,4	19,3	26,1	15,2
	Producción de mater. nucleares	*Armas*	*Desarrollo de reactores*	*Invest. fís-quím.*	*Invest. medicina*
1950	168,5	112	31,5	28,9	17,8
1951	188,3	163,6	44,5	29,8	21,3
1952	278,3	229,2	64,4	34,7	24,5

Gastos totales	
1947	318,3
1948	462,6
1949	631,9
1950	670,9
1951	953,8
1952	1.766,4

Una consideración relevante para los objetivos del presente libro es señalar que al abrigo de los intereses militares, la investigación civil en el dominio de la fusión —esto es, la investigación cuyo objetivo es desarrollar sistemas técnica y económicamente viables para producir energía— se vio favorecida. De hecho, no es ninguna casualidad que hayan sido Estados Unidos, la Unión Soviética y Gran Bretaña las naciones que más se han distinguido en este campo científico. En el caso norteamericano tenemos que, fruto de la decisión de Truman de fabricar la superbomba, en 1951 se establecieron en la Universidad de Princeton dos laboratorios dedicados a la fusión: uno, denominado

«Matterhorn B» (la B de «bomba»), dirigido por John A. Wheeler, antiguo colaborador de Bohr, maestro de Richard Feynman y veterano, como sabemos, del Proyecto Manhattan, que estaba convencido de la necesidad de disponer de superbombas, y el otro, «Matterhorn S» (la S de «Stellator», la «Máquina de las estrellas», el nombre con el que se bautizó al instrumento desarrollado para estudiar los plasmas de fusión), dirigido por el astrofísico Lyman Spitzer, que, dada su especialidad, estaba muy interesado en las reacciones termonucleares controladas. Wheeler lo estaba en las reacciones explosivas, pero necesitaba el conocimiento básico que se generase en el laboratorio de Spitzer, donde, de hecho, se llevaron a cabo importantes avances en la teoría de la fusión controlada y en el diseño del «Stellator», aunque éste probó ser menos interesante que el correspondiente aparato desarrollado por los soviéticos: el «Tokamak».

El caso de la bomba de hidrógeno sirve también para entender la mentalidad, las razones, por las que científicos de primerísima línea (como sin duda fueron algunos de los que participaron —en Estados Unidos al igual que en la Unión Soviética— en su fabricación) decidieron contribuir a resolver los problemas existentes para construir bombas de hidrógeno, sin que mediase el condicionante de encontrarse sumergidos en una guerra mundial. En realidad, seguramente hay tantas respuestas a esta cuestión como científicos, tan diverso es el universo de las psicologías individuales. Yo me limitaré a uno especialmente destacado, el del físico soviético Andrei Sajarov (1921-1989), que, como es bien sabido, después de contribuir decisivamente a que la Unión Soviética dispusiese de bomba de hidrógeno, terminó siendo un notable opositor al régimen comunista y premio Nobel de la Paz en 1975.

En sus memorias, Sajarov recordó cómo había comenzado a trabajar en este campo:[140]

> En 1948, nadie me preguntó si quería o no tomar parte en este trabajo [contribuir a la construcción de una bomba de

hidrógeno]. No tuve oportunidad de elegir, pero me entregué totalmente, con gran concentración, una absorción total y mucha energía, por propia voluntad. Ahora que han pasado tantos años, me gustaría explicar los motivos de mi dedicación, a mí mismo sin ir más lejos. Una de las razones de ello (aunque no la principal) fue la posibilidad de hacer «física superior» (el comentario de Fermi sobre el programa de la bomba atómica). Mucha gente pensó que su comentario era cínico, pero el cinismo normalmente presupone la duplicidad, mientras que yo creo que Fermi era completamente sincero, aunque bien pudo haber estado guardándose la auténtica cuestión. No se debe olvidar que el comentario completo de Fermi, «*Después de todo*, es física superior», indica que hay otro lado de la cuestión.

Que la fusión termonuclear era para Sajarov «física superior» queda claro en sus siguientes palabras: «La física de las explosiones atómicas y termonucleares es un verdadero paraíso para los teóricos... Una reacción termonuclear —la misteriosa fuente de energía del Sol y de las estrellas, el sustento de la vida en la Tierra, pero al mismo tiempo un potencial instrumento de su destrucción — estaba a mi alcance. Estaba tomando forma en mi mesa... En aquellos momentos lo más importante para mí, y creo que también para Tamm y los demás miembros del grupo, era la convicción de que nuestro trabajo era *esencial*». Por supuesto, se daba cuenta de que «las armas que se estaban construyendo eran de naturaleza inhumana y aterradora. Pero la guerra que acabábamos de pasar también había sido un ejercicio de barbarie; y a pesar de que yo no había luchado en ese conflicto, me consideraba a mí mismo un soldado en esa nueva guerra científica».

Las lecturas de las palabras de Sajarov son evidentes. Y entre ellas destaca el atractivo que tiene para los científicos la buena investigación científica, un atractivo que con frecuencia pasa por encima de prácticamente cualquier otra consideración. Incluso para aquellos que, como terminó siendo el caso de Sajarov, poseen sensibilidad moral y valor cívico. El siglo XX fue testigo de numerosos ejemplos en este mismo sentido.

Mencioné antes que, debido a su oposición a iniciar un programa dedicado a fabricar una bomba de hidrógeno, Oppenheimer terminó teniendo graves problemas. Es el momento de profundizar algo más en este punto.

Convertido en héroe nacional después de agosto de 1945, comenzó entonces una nueva etapa de la vida de Oppenheimer. Una etapa que finalmente le convertiría en víctima de la lucha política. En su caso, sus enemigos fueron todos aquellos que en Estados Unidos deseaban beneficiarse, frente a la Unión Soviética, del poder nuclear con el que inesperadamente se habían visto dotados. Los militares del Pentágono, por supuesto, formaban parte de ese grupo, pero no sólo ellos, también personajes tan poderosos como el director del FBI, Edgard Hoover, el senador Joseph McCarthy y el influyente Lewis Strauss, miembro y luego director de la Comisión de Energía Atómica, agencia que, como ya he apuntado, monopolizaba todo lo referente a la energía nuclear, y científicos, entre los que ninguno sobresalió más que Edward Teller.

El problema es que Oppenheimer llegó a la convicción de que no tenía sentido embarcarse en una carrera de armamento nuclear, buscando más y más poderosas bombas, como la bomba de hidrógeno. Y su opinión no era la de cualquiera, sino la del «padre de la bomba atómica», de alguien que figuraba en los comités más importantes que aconsejaban sobre asuntos nucleares. Cuál era su opinión aparece expresada claramente en un informe que, en nombre del Comité Asesor de la AEC que dirigía, envió el 17 de agosto de 1947 al secretario de Guerra:[141] «Creemos que la seguridad de nuestra nación —como algo opuesto a su habilidad para infligir daño a una potencia enemiga— no puede residir completamente o incluso fundamentalmente en su capacidad científica o técnica. Debe basarse sólo en hacer que las guerras futuras sean imposibles. Es nuestra unánime y urgente recomendación... que se lleven a cabo todos los acuerdos internacionales necesarios para lograr tal

fin». Cuando en 1949 la Unión Soviética hizo estallar su primera bomba atómica, fueron muchos en Estados Unidos los que vieron en el desarrollo de la bomba de hidrógeno la única medida para combatir a los soviéticos. Oppenheimer se esforzó por retrasar los trabajos en semejante dirección con el fin de intentar llegar a un acuerdo con la Unión Soviética para renunciar a esa arma, pero el presidente Truman decidió, como vimos, autorizar la fabricación de la bomba.

En semejante escenario, acaso hubiese sido prudente que Oppenheimer retornase a la vida académica, pero aunque tras el final de la guerra retomó algunas de sus actividades universitarias en California, desde el principio las alternó con constantes viajes a Washington D. C., para asistir a los comités en que figuraba. Al director del Departamento de Física de Berkeley le confesó que echaba de menos los corredores de poder de Washington. De hecho, cuando a comienzos de 1947, se le ofreció la dirección del Instituto de Estudio Avanzado de Princeton, la aceptó, contento de instalarse en un lugar cercano a la capital federal, ocupado en tareas organizativas. Tenía razón Teller, el científico que más y con más dureza combatió a Oppie, cuando respondió a la célebre frase de éste (que ya cité), de que los físicos habían «conocido el pecado» debido a la bomba atómica, señalando que lo que los físicos habían «conocido es el poder». Y, añado yo, entonces al igual que hoy ese poder les había gustado. No los culpemos por ello, pero tengámoslo en cuenta.

La influencia que Oppenheimer ejercía, o podía ejercer, hizo que a partir de 1950 se intensificasen los esfuerzos para apartarlo del escenario político nuclear. El anuncio en febrero de que Klaus Fuchs acababa de confesar que había pasado secretos atómicos a la Unión Soviética, ayudó en este sentido. Inmediatamente, el 9 de febrero, el senador McCarthy declaraba que poseía una lista con más de doscientos nombres de comunistas que se habían infiltrado en el Departamento de Estado, e iniciaba su famosa «caza de brujas» política. En marzo, Oppenheimer declaraba ante

un Comité Conjunto que ahora era «un decidido anticomunista, cuyas antiguas simpatías por causas comunistas le habían inmunizado contra más infecciones».142

No bastó con esto, sin embargo. Ni tampoco con que el 1 de noviembre de 1952 se llevase a cabo con éxito la primera explosión termonuclear estadounidense. La persecución a la que fue sometido tanto por Strauss, nombrado por Eisenhower director de la AEC, como por Hoover, dio como fruto que el 3 de diciembre de 1953 el presidente ordenase que se estableciese una barrera entre Oppenheimer y los secretos atómicos. Ahí podía haber terminado todo, más aún habida cuenta de que el último vínculo que unía a Oppie con la Administración en asuntos atómicos expiraba en junio de 1954. Habría bastado con no renovárselo. Sin embargo, una vez más, no era suficiente: era preciso demostrar a otros el riesgo que asumían si se enfrentaban a ellos, a los que sólo podían imaginar un futuro seguro bajo el escudo de miles y miles de bombas nucleares. Y así fue como Oppenheimer terminó ante una Junta de Seguridad de Personal de la AEC, ante la que fue interrogado, al igual que otros, amigos y enemigos, entre el 12 de abril y el 6 de mayo de 1954 para juzgar sobre su lealtad. El 27 de mayo una mayoría (2 frente a 1) de esa Junta emitió su recomendación. Merece la pena recordar uno de sus pasajes centrales:143 «No creemos que lo que hemos encontrado... proporciona una completa y automática respuesta a la cuestión que se nos planteó... Por una parte, no existe evidencia de deslealtad. De hecho, tenemos delante de nosotros muchas responsables y positivas evidencias de la lealtad y amor por su país del individuo concernido. Por otra parte, no creemos que se haya demostrado que el Dr. Oppenheimer esté libre de sospecha en lo que se refiere a conducta, carácter y asociación. Podemos, en conciencia, creemos, concluir nuestra difícil tarea con una breve, concisa, recomendación: No pueden existir obstáculos para la seguridad nacional, que en tiempos de peligro debe ser absoluta, y sin

concesiones a razones de admiración, gratitud, recompensa, simpatía o caridad. Cualquier duda que surja debe resolverse a favor de la seguridad nacional. El material y evidencia presentado a esta Junta deja dudas razonables con respeto al individuo al que concierne. No podemos, por consiguiente, recomendar que se le devuelva la autorización de acceder a secretos».

No es sorprendente, claro, que con semejantes recomendaciones, el 29 de junio la propia AEC decidiese retirar a Oppenheimer el permiso a acceder a secretos atómicos, justo un día antes de que tal permiso expirase.

Robert Oppenheimer fue acusado y condenado, en una mera «audiencia», o «vista», sin ninguna potestad legal, no por haber pasado información a otros países, por haber sido o no comunista, sino por sus opiniones. El delito de opinar en contra de lo que otros pensaban. En el camino quedaron todo tipo de iniquidades. Durante once años, violando la legalidad, el FBI abrió su correo, controló sus llamadas telefónicas, instaló micrófonos ocultos en su despacho y en su casa, y siguió todos sus movimientos. Y no sólo fue él. Entre 1947 y 1952 casi cinco millones de personas fueron investigadas en Estados Unidos. Del 99,5 por 100 de ellas no existía nada sospechoso en sus historias previas.

Los Teller, Lawrence, Strauss, McCarthy, Hoover, al igual que sus compañeros de viaje soviéticos hacia las entrañas de la destrucción nuclear, ganaron finalmente la partida a los Oppenheimer o Sajarov (también a Bethe):[144] cuando la Unión Soviética se desmoronó en 1991, entre ella y Estados Unidos habían fabricado en torno a 125.000 armas nucleares.

La física de altas energías: nuevos laboratorios al amparo (militar) de la física nuclear

La investigación en física de altas energías (física nuclear, partículas elementales) se vio muy favorecida por la experiencia del Proyecto Manhattan y luego por el programa encaminado a la construcción de la superbomba.

En concreto, la construcción de nuevos aceleradores de partículas resultó particulamente beneficiada.

Un detalle que muestra la consideración que los militares tenían por estos artefactos —de los que tanto se habían servido en el Berkeley de Lawrence— es lo que sucedió a los cinco ciclotrones de que disponía Japón nada más terminar la guerra: dos en el Instituto de Investigación Física y Química de Tokio, dirigido por Yoshio Nishina (1890-1951), dos en la Universidad de Osaka y uno en la de Kioto. Por cierto, la existencia de este número de ciclotrones muestra que la física de la *Gran Ciencia* también había llegado a Japón. Nishina, que había estudiado con Rutherford, Born y Bohr entre 1921 y 1923, fue el principal responsable del avance de la nueva física, que haría posible la aparición de científicos tan destacados como Hideki Yukawa, el primer japonés que recibió un premio Nobel (de Física en 1949, por haber predicho la existencia de mesones en sus estudios teóricos sobre las fuerzas nucleares) y Sin-itiro Tomonaga, también premio Nobel de Física (en 1965, compartido con Julian Schwinger y Richard Feynman) por sus contribuciones al desarrollo de la electrodinámica cuántica.145

Al igual que lo que había sucedido con Alemania, Estados Unidos prohibió a Japón realizar investigaciones que pudiesen significar la recuperación de su potencial bélico, lo que incluía las actividades relacionadas con la energía atómica. Para evaluar la situación existente, una misión especial (U.S Scientific Intelligence Survey Group), dirigida por Karl T. Compton, presidente del MIT, viajó en septiembre de 1945 a Japón.146 En octubre, Nishina pidió permiso a las autoridades de ocupación estadounidenses para reanudar los trabajos con sus dos ciclotrones, en investigaciones de biología, química y metalurgia. Compton mostró su conformidad con la petición de Nishina. Sin embargo, el 22 de noviembre, mientras los científicos del Instituto preparaban los ciclotrones, sin previo aviso, personal de las fuerzas del general Douglas MacArthur, Comandante Supremo de las Potencias Aliadas desde el 30

de octubre de 1945, investigó el Instituto, y dos días después miembros del Sexto y Octavo Ejércitos se presentaron en el centro de Tokio, al igual que en los de las Universidades de Osaka y Kioto y comenzaron a desmantelar todos los ciclotrones japoneses, tirando al mar algunas de las piezas.147 La revista *Life* se hizo eco del suceso, publicando fotografías de soldados estadounidenses desmantelando y tirando piezas al mar.148

Estos hechos tienen por supuesto que ver con el temor de los militares norteamericanos ante todo lo que tuviese que ver con el mundo atómico. Si MacArthur contravino la autorización previa, es porque valoraba demasiado los ciclotrones como para querer que Japón dispusiese de ellos y pudiese comenzar a restaurar su ciencia, la ciencia que había desempeñado un papel crucial en el desarrollo de la guerra. De hecho, durante la guerra, Nishina con el apoyo del Ejército de Tierra, había liderado un proyecto dirigido a la construcción de bombas atómicas, para el que utilizó al menos uno de sus ciclotrones. Él mismo insistió ante el general Nobuuiji en la importancia de los ciclotrones para tal fin, y durante los años de la guerra, su Instituto de Tokio, al igual que otros centros de investigación japoneses, creció considerablemente financiado por los militares (al término de la contienda empleaba a más de 1.500 científicos en 33 laboratorios). Sin embargo, sus esfuerzos ni fueron demasiado grandes (comparados con el Proyecto Manhattan), ni llegaron demasiado lejos, como señaló Compton en su informe de inteligencia, en el que indicaba que una de las razones del fracaso fue la tradicional rivalidad, «incluso odio», entre el Ejército de Tierra y la Armada de Japón (que apoyaba investigaciones nucleares —de las que Nishina no recibió información— en Kioto). Por eso dio permiso a la solicitud de Nishina.

Pero dejemos ya esta significativa anécdota, y continuemos con lo que sucedió en Estados Unidos en relación con los aceleradores.

Lawrence, siempre buscando nuevos recursos para sus laboratorios, recurrió tras la guerra al todavía vigente

Manhattan Engineer District en busca de ayuda. El general Groves no puso demasiados reparos para apoyar los planes del científico de California: entre 1945 y 1946 Berkeley recibió del ejército, para el acelerador linear de partículas de Luis Alvarez y para el sincrotón de Edwin McMillan, equipos de radar y condensadores valorados en 250.000 y 203.000 dólares, respectivamente. Mientras el Congreso debatía cuál iba a ser el destino de la Atomic Energy Commission, Groves autorizaba 630.000 dólares para construcciones y 1,6 millones para el mantenimiento durante seis meses de los laboratorios de Lawrence.[149]

El que la costa oeste de los Estados Unidos dispusiese en Berkeley de unas instalaciones bien provistas y en expansión, dedicadas a un campo de conocimiento del que se esperaba que acapararía la investigación puntera en el futuro, no fue algo que los físicos y administradores de las universidades de la costa este aceptasen de buen grado. El 16 de enero de 1946 se reunían en la Universidad de Columbia representantes de 21 instituciones de la región que iba de Filadelfia a New Haven (Yale). Fruto de aquella reunión fue una propuesta a Groves para que financiase el establecimiento de un laboratorio colectivo en la costa atlántica. Las noticias de esta iniciativa llegaron inmediatamente a científicos de MIT y de Harvard, en Cambridge, Massachusetts, que se apresuraron a efectuar una propuesta similar. La respuesta de Groves fue clara: no había nada que hablar mientras no se pusiesen de acuerdo ambos grupos. No tardaron mucho éstos en satisfacer los deseos del general. En una reunión que tuvo lugar el 16 de febrero se sentaron las bases para el establecimiento de un laboratorio colectivo dedicado a física nuclear y de altas energías: el Brookhaven National Laboratory (BNL), situado en Brookhaven, Long Island, Nueva York, que comenzaría a funcionar en enero de 1947, bajo contrato con la AEC, que por entonces acababa de pasar a desempeñar las funciones del Manhattan Engineer District.[150] Es interesante destacar el que diversas instituciones de educación superior uniesen sus esfuerzos (hasta el punto de crear una corporación

nueva, Associated Universities, Inc.) para poder competir con Berkeley;[151] de hecho, con la creación del BNL se definía un modelo operativo, basado en la cooperación, que Europa seguiría pocos años después, cuando doce naciones fundaron el Centre Européen de Recherches Nucléaires (CERN), del que me ocuparé más adelante.

La decisión de fabricar la bomba de hidrógeno implicó, como ya señalé, nuevos recursos para la física nuclear y de altas energías. Una vez más, Lawrence resultó uno de los grandes beneficiados. Para producir materiales destinados a las armas atómicas, el creador de los ciclotrones convenció a la AEC para que financiase un «Materials Testing Accelerator» (Acelerador para Ensayo de Materiales) en Livermore, California. El prototipo se construyó, a un coste de 20 millones de dólares, pero la construcción del acelerador real se abandonó porque métodos utilizados en otros aceleradores del oeste y nuevos yacimientos resultaban más económicos. Sin embargo, de los restos de este proyecto surgiría el Livermore National Laboratory, creado en marzo de 1952 a instancias del Consejo de Seguridad Nacional, cuando de hecho ya se había realizado la primera prueba termonuclear.[152] La financiación vino de la AEC, pero, al igual que Los Álamos, el centro pertenecía a la Universidad de California. A los pocos meses, 123 científicos, entre ellos Teller, trabajaban allí.

Nuevas agencias de apoyo a la investigación en Estados Unidos

Incluso antes de la rendición de Japón comenzaron las iniciativas para establecer vínculos estables entre Fuerzas Armadas y ciencia. El primer paso fue también, durante bastante tiempo, uno de los más importantes. En mayo de 1945 e inicialmente de manera provisional, la Marina fundó una Office of Naval Research (Oficina de Investigación Naval; ONR), cuyo propósito era crear un grupo de personal científico capacitado, que fuese mayor y que estuviese más adecuadamente preparado que el que existía antes de la guerra.[153] Consistente con sus intenciones, la ONR apoyó

generosamente investigaciones que en física iban desde la radioastronomía hasta la criogenia, pasando por la espectroscopia de microondas, la física del estado sólido, de altas energías y la nuclear. Y no fue la física la única favorecida, aunque sí la que más; la química, por ejemplo, fue objeto de bastante atención, como se puede deducir del hecho de que en 1952 alrededor del 5 por 100 de los artículos publicados por revistas de química estadounidenses se basasen en investigaciones promovidas por la ONR. Cuando la ley que daba carácter permanente a la ONR fue aprobada por el Congreso en agosto de 1946, esta agencia de la Marina ya mantenía 177 contratos con 81 laboratorios, totalizando 24 millones de dólares. En 1949, la ONR apoyaba 1.200 proyectos, que involucraban 200 instituciones, 3.000 científicos y 2.500 estudiantes graduados. Para darse cuenta de lo que todo esto significaba sólo hay que recordar que a finales de la década de los treinta el presupuesto anual total de los departamentos de física de todas las universidades de Estados Unidos era (no incluyendo salarios) de 750.000 dólares.

A la ONR le siguieron otras organizaciones: la ya citada Atomic Energy Commission, la National Science Foundation (1950), la Army Research Office (1951), la Air Force Office of Scientific Research (1952) o la National Aeronautics and Space Administration (1958). De todas estas agencias, la única de carácter netamente civil fue la National Science Foundation (NSF), cuyo establecimiento respondió a la idea, defendida por algunos científicos al finalizar la guerra, de que no sería bueno para la ciencia depender demasiado de los militares. Tras cinco años de discusiones, el presidente Truman firmó en marzo de 1950 (es decir, incluso después de haber dado luz verde al proyecto de fabricación de la superbomba) el decreto de creación de una institución de la que se esperaba que patrocinase una gran parte de la investigación fundamental nacional. Pronto, sin embargo, tuvo lugar un acontecimiento que frenó considerablemente ese inicio de cambio de dirección

en la política científica federal. En junio de 1950, menos de tres meses después de la creación de la NSF, comenzaba la guerra de Corea, que duraría hasta 1953.

La Guerra Fría, la racionalidad militar, y el desarrollo del máser y el láser

Con el estallido de la guerra de Corea, y, en general, el inicio de la Guerra Fría, el presupuesto del Departamento de Defensa para I+D creció extraordinariamente, llegando a 1.300 millones de dólares en 1951. Y no sólo es que hubiese más dinero para la investigación, sino que también el clima que produjo tales acontecimientos hizo que desapareciesen algunas resistencias a colaborar con las Fuerzas Armadas.154

Ante semejante situación, la NSF vio considerablemente debilitada su posición. El presidente del California Institute of Technology, por ejemplo, declaraba en 1953 que para desempeñar su función propiamente la NSF debería de tener un presupuesto diez veces superior al que poseía. La NSF, decía, es «totalmente incapaz de financiar grandes proyectos de investigación... El California Institute of Technology, por ejemplo, iría a la quiebra si todas las fuentes de financiación de su investigación básica fuesen transferidas repentinamente a la NSF».

No es difícil entender la racionalidad que subyacía tanto en el establecimiento del BNL como en las ampliaciones del Lawrence Radiation Laboratory, todo financiado, en su inmensa mayoría, con dinero militar. Y es, además, instructivo. Está claro que aunque en aquellos centros se llevasen a cabo investigaciones de carácter militar, no era esa, o se podía prever que no iba a ser, la principal —o al menos la única— orientación de los laboratorios, especialmente del de Brookhaven. Lo que las Fuerzas Armadas estadounidenses pretendían era —y el caso, con el que ya nos encontramos, del general Arnold es un ejemplo temprano en esa dirección— controlar una parte sustancial del potencial científico de la nación;

mantener de una manera equilibrada, y no demasiado llamativa, una red de instalaciones y personal, científico y técnico, que sirviese a los fines militares; fines que no necesariamente pasaban por involucrar a esos profesionales en investigaciones claramente bélicas, aunque también se hiciese esto, por supuesto. Los militares estadounidenses no cayeron en el error de creer que solamente debían financiar investigaciones encaminadas directamente a producir nuevos armamentos; reconocieron que era necesario mantener de manera permanente relaciones con el mundo académico, ya que si no, se corría el riesgo de perder todo lo que laboriosamente se había conseguido durante la guerra, y que para ello hacía falta una política científica compleja y refinada, que no alienase a los profesionales de la ciencia. Los laboratorios de Berkeley y Brookhaven les permitían, en este sentido, y además de las obvias vinculaciones con la superbomba, sostener complejos equipos de científicos, ingenieros y técnicos, trabajando en problemas que involucraban la física nuclear, la electrónica, la física del estado sólido, la ciencia de los materiales, la matemática aplicada y los ordenadores; equipos que podrían, por ejemplo, lanzarse instantáneamente a nuevos proyectos eminentemente bélicos, no necesariamente del tipo Manhattan. No hubo, por consiguiente, ni ingenuidad ni improvisación en el apoyo que las Fuerzas Armadas prestaron a partir de 1945 a la ciencia. Ni tampoco se limitó este apoyo a la física nuclear. Las ciencias del espacio, por ejemplo, se beneficiaron enormemente de la colaboración con los militares. Con los misiles V-2 capturados a los alemanes se llevaron a cabo, entre 1946 y 1956, importantes investigaciones en rayos cósmicos, meteorología, y física de la ionosfera, atmosférica y solar. Evidentemente, tales investigaciones formaban parte de un conjunto en el que no faltaban aspectos más aplicados, como propagación de ondas de radio en la ionosfera, reconocimiento aéreo, dinámica de vuelo, control de misiles, etc., pero el hecho es que la física y un buen número de ramas de la ingeniería avanzaron notablemente

con dicha asociación.[155]

Otra muestra importante de la conexión entre ciencia y militares se encuentra en el desarrollo del máser (*m*icrowave *a*mplification by *s*timulated *e*mission of *r*adiation) y del láser (*l*ight *a*mplification by *s*timulated *e*mission of *r*adiation), las radiaciones que aunque en esencia obedecen a principios (emisión estimulada) introducidos por Einstein en 1916, no fueron descubiertas, por Charles Townes, hasta la década de los cincuenta (1951 y 1958, respectivamente).

Tras permanecer en los Bell Laboratories entre 1939 y 1947, donde se ocupó, entre otros temas, de la investigación relacionada con el radar, Townes pasó al Radiation Laboratory de Columbia University, creado durante la guerra para desarrollar radares.[156] Al igual que otras instituciones, este laboratorio continuó recibiendo dinero de los militares después de la guerra, dedicando el 80 por 100 de su presupuesto al desarrollo de tubos que generasen microondas. En la primavera de 1950, Townes organizó en Columbia para la ONR un comité asesor para considerar nuevas formas de generar microondas de menos de un centímetro. Tras un año de considerar la cuestión, se le ocurrió un nuevo enfoque antes de asistir a una de las sesiones de su comité: era la idea de máser. Cuando logró, en 1954 y en colaboración con uno de sus doctorandos, James P. Gordon, hacer realidad operacional esa idea, resultó que las oscilaciones producidas por el máser se caracterizaban no sólo por su alta frecuencia y potencia, sino también por su uniformidad. Las aplicaciones (militares, civiles y científicas[157]) de la nueva radiación para aumentar la sensibilidad de detectores de señales electromagnéticas (radio y microondas) atrajeron un gran interés inmediatamente.

Aparentemente, ya desde el principio Townes había pensado extender su idea a longitudes de onda más pequeñas, pero sólo fue a partir del otoño de 1957 cuando pudo comenzar sus trabajos para ir desde las microondas a la luz. Colaborando con su cuñado, Arthur Schawlow, un

físico de los laboratorios Bell, Townes ya sabía en la primavera de 1958 cómo, en principio, construir un láser.

Si el máser fue bien recibido, el láser lo fue más aún, especialmente por el Departamento de Defensa. A partir de la década de los sesenta, este departamento del Gobierno Federal desplegó un amplísimo —y no siempre en la dirección científica correcta— apoyo a la investigación relacionada con las fuentes de luz coherente. La idea era utilizar esta luz intensa y altamente direccional como instrumento de detección, guía o localización, e, incluso, como arma; deseos todos estos que en el futuro la Iniciativa de Defensa Estratégica del presidente Reagan mantendría en grado superlativo. Tanto la Marina como la Fuerza Aérea o el Ejército de Tierra esperaban poder incorporar el láser a sus respectivos arsenales; ello llevaba, obviamente, a que se necesitasen láseres de energías, longitudes de onda, eficiencias y tamaños muy dispares, lo que, a su vez, significó que se tuviese que prestar gran atención a disciplinas como la ciencia de los materiales, espectroscopia o química y física del estado sólido.158 La ONR, por ejemplo, firmó contratos con IBM para que ésta estudiase el mecanismo de emisión de luz en semiconductores, y con la Northeastern University, para investigar el almacenamiento energético en diodos emisores de luz. Los científicos que se dedicaron en el Watson Research Center de IBM a estudiar la fabricación de cristales de arseniuro de galio tipo-n dopados con silicio, germanio, selenio, telurio y estaño, investigaciones sin las cuales no cabe pensar en una gran parte de la actual microelectrónica y optoelectrónica, lo estaban haciendo a instancias de una agencia militar.

Acabo de mencionar la electrónica, la disciplina científica que penetra prácticamente todos los resortes de las Fuerzas Armadas. En 1941, 45 fabricantes de equipos de radio alcanzaban una cifra de ventas de 240 millones de dólares. En 1944, la industria de la radio y el radar llegaba a los 4.500 millones.159 En la posguerra la industria electrónica siguió creciendo, a un ritmo cuatro o cinco veces más rápido que el resto de la industria, doblándose el

volumen total de ventas entre 1950 y 1960. A primera vista se puede pensar que este gran crecimiento se debió sobre todo al auge de la televisión en Estados Unidos; sin embargo, cuando se examina de cerca ese crecimiento, se encuentra que entre 1950 y 1960 las ventas anuales de los productos electrónicos destinados al público no aumentaron en absoluto, mientras que las de productos electrónicos para los servicios militares crecieron un 650 por 100 (en dólares constantes). Y si hablamos de contribuciones al I + D, tenemos que hacia 1960 el 70 por 100 de la investigación y desarrollo en la industria electrónica se pagaba con fondos federales. En otras palabras, aunque no se puede olvidar la aportación procedente del auge de la sociedad de consumo en el desarrollo científico de la segunda mitad del siglo XX, no parece que, al menos en la nación hegemónica durante ese período, haya sido el primer factor responsable de tal desarrollo.

Puede resultar duro de aceptar, especialmente para el acomodaticio y complaciente *ego* de los científicos, pero los recientes estudios históricos y sociológicos están demostrando que el desarrollo de una parte importante de la ciencia (desde luego de la física) estadounidense —lo que en buena medida quiere decir también *mundial*— a partir de 1945, y hasta la actualidad, ha seguido las líneas directrices marcadas no por los propios científicos, o por la dinámica interna de la propia ciencia, sino por políticos y militares.[160] El talento científico no ha tenido demasiados inconvenientes en dejarse conducir a aquellos campos en los que las prioridades nacionales pusieron dinero, prestigio y la excitación implícita en programas de investigación que plantean cuestiones que se quieren resolver urgentemente. Hasta qué punto esto ha sido así, se puede apreciar con el caso de Norbert Wiener, uno de los científicos más críticos de la colaboración «ciencia-Fuerzas Armadas».[161] Profesor del MIT, una institución el 80 por 100 de cuya investigación era financiada por distintas agencias del Departamento de Defensa, Wiener nunca pudo, a pesar de su negativa a aceptar el patronazgo de los militares, dejar

de ser una de las principales fuentes de inspiración intelectual de laboratorios que servían a fines que él deploraba. De hecho, durante la Segunda Guerra Mundial trabajó para las Fuerzas Armadas, desde el MIT, en el control de servomecanismos, un campo con importantes aplicaciones a, por ejemplo, la lucha antiaérea, tanto desde tierra como desde el mar. Como parte de estos trabajos, Wiener tuvo que relacionarse con ingenieros de los laboratorios Bell, intercambios de los que extrajo bastantes beneficios intelectuales. Es cierto que se quejó con frecuencia de las exigencias de secreto asociadas a sus investigaciones, pero ¿qué esperaba?

Interludio: un mundo nuclear

A continuación debería tratar del presidente Eisenhower; ahora bien, para que nos situemos mejor ante algunas de sus iniciativas, mencionaré antes algunos aspectos de las aplicaciones civiles de la energía nuclear, una fuente energética que por aquellos años disfrutaba de un gran prestigio.

Cuando Eisenhower llegó a la presidencia, se pensaba que con la energía nuclear prácticamente todo sería posible; por ejemplo que se podrían utilizar reactores nucleares para propulsar aviones (se estimó que el blindaje necesario pesaría entre 50 y 100 toneladas), un proyecto denominado «Aircraft Nuclear Propulsión», en el que se gastaron mil millones de dólares.

Si en el transporte aéreo la energía nuclear fracasó, no ocurrió lo mismo en el marítimo (militar). En agosto de 1951, la Marina estadounidense firmó un contrato con la Electric Boat Company para la construcción de un submarino impulsado por un reactor de agua a presión: el *Nautilus*, que entró en funcionamiento en 1954. Este reactor estaba formado, esencialmente, por placas de U-235, y estaba moderado y enfriado por agua ordinaria. No era la única elección posible, ni, desde el punto de vista de la industria civil, seguramente la mejor, toda vez que

convierten únicamente alrededor del 3 por 100 de su combustible en energía utilizable.

Ahora bien, en este punto hay que darse cuenta de que los científicos e ingenieros, la mayoría formados durante el Proyecto Manhattan, que, a partir de los años cincuenta, se dedicaban a la tarea de diseñar reactores nucleares se encontraban con un número enorme de posibilidades, ya que existen muchas variantes para cada componente de un reactor (combustible, refrigerante, moderador). El material fisionable puede ser, por ejemplo, no sólo U-235, sino también U-233 o, por supuesto, Pu-239; el refrigerante, agua ordinaria, agua pesada, gas, o metal líquido; el moderador, grafito, berilio, agua ordinaria, agua pesada o, como en el reactor rápido de neutrones, ningún moderador. Se ha llegado a afirmar que si se cuentan todas las combinaciones posibles de combustible, refrigerante y moderador, se pueden identificar alrededor de mil reactores diferentes. Las elecciones que se tomaban inicialmente pesaban gravemente en los caminos que se debían seguir en el futuro. «Cuando miro hacia atrás», escribió en sus memorias Alvin Weinberg, director del Oak Ridge National Laboratory entre 1955 y 1973, y una de las figuras más prominentes en el campo de la tecnología de reactores, «me doy cuenta de que la actual preponderancia de reactores de agua a presión surge no de ninguna característica superior del agua, sino de la decisión... de propulsar el *Nautilus*... con una versión presurizada del reactor construido en Oak Ridge para hacer pruebas sobre diferentes materiales. Una vez el agua a presión tomó esta ventaja inicial, otras posibilidades fueron descartadas ya que ponerlas a prueba era demasiado caro».162 Nos encontramos aquí con el eterno problema de las condiciones iniciales y de las vías que en sus innovadores movimientos de apertura también —dramática paradoja— cierra.

En el reactor del *Nautilus*, del que, de hecho, surgió la energía nuclear comercial, lo que se ha denominado «seguridad intrínseca» (diseñar mecanismos que hagan que el reactor no pueda llegar a estar fuera de control) no era

muy importante; al fin y al cabo se trataba de un barco de guerra, donde convivir con el riesgo es una realidad asumida. Este menosprecio —relativo, por supuesto— en lo referente a introducir medidas que asegurasen una seguridad completa del reactor también afectó inicialmente a la tecnología civil de reactores. Es cierto que se alzaron algunas voces en defensa de medidas que favoreciesen una seguridad absoluta. Edward Teller defendió desde el principio que se colocasen los reactores bajo tierra, y Sam Untermyer diseñó un reactor de agua en ebullición intrínsecamente seguro. Pero estas ideas no fueron tomadas en serio. Recurriendo de nuevo a Weinberg, tales ideas «*no podían*, sencillamente, haber sido consideradas seriamente. Nadie sabía si los reactores de agua ligera ordinaria podrían alguna vez producir potencia que fuese competitiva con la potencia obtenida a partir de combustibles fósiles». Tampoco se tomó en serio la cuestión de la eliminación de los desechos. «No podíamos», añade Weinberg, en una tan sincera como, sin duda, dolorosa —y para muchos sorprendente— declaración, «imaginar que el público se vería afectado por una radiaciónfobia... Y como los desechos, una vez solidificados, no podían imponer una carga radiactiva ni siquiera del orden de la natural, nos cogió de sorpresa la violencia de la reacción pública».

Es curioso, ya digo, esta sorpresa. Probablemente no era sino una consecuencia del optimismo desbordante que surgió en torno al mundo de la ciencia y la tecnología nucleares. La energía nuclear, se pensaba, haría posible el advenimiento de un mundo auténticamente feliz; energéticamente hablando, por supuesto. Son muchos los ejemplos que se pueden ofrecer de entusiasmos por el mundo nuclear. Como el de Lewis Strauss, que en 1954 (ya dirigía entonces la AEC) dibujaba un horizonte, que a lo más tardaría unos quince años, en el que «no será excesivo esperar que nuestros hijos disfruten en sus casas de energía eléctrica demasiado barata como para ser medida en el contador; en el que sabrán de hambrunas regionales endémicas en el mundo únicamente a través de los libros de

historia; en el que viajarán sin esfuerzo por los mares o bajo ellos y por el aire con un mínimo de peligros y a grandes velocidades; y en el que gozarán de una expectativa de vida mucho más larga que nosotros».[163] Y todo esto llegaría gracias a la energía nuclear.

Para hacer posible que este futuro feliz llegase a ser realidad, era necesario, por supuesto, su concreción industrial. Para favorecer este paso, el Congreso norteamericano pasó una ley en 1957. Un aspecto interesante de esta ley es que minimizaba las responsabilidades en caso de posibles accidentes. Existían precedentes: los autores del Acta para la Energía Atómica de 1954, que habían copiado gran parte de su texto del Acta de Comunicaciones Federales de 1934, únicamente habían incluido vagas especificaciones acerca de requisitos de seguridad. Imperdonable desliz, fruto sin duda del optimismo y de la ansiedad, ya que no es lo mismo, lo sabemos muy bien —y ellos lo deberían haber sabido también—, una comunicación telefónica o telegráfica, o una emisora de radio, que una central nuclear.

Pero ni siquiera teniendo en cuenta que inicialmente los requisitos de seguridad no fueron demasiado exigentes, las empresas se animaron a introducirse en este nuevo universo comercial. Serían General Electric y Westinghouse las que, en fecha tan, en principio, tardía como 1963, se lanzaron con entusiasmo —un entusiasmo que impulsaba la competencia entre ellas, tanto o más que sensatas evaluaciones tecnológicas y económicas— a la tarea de construir centrales nucleares. Aquel año, General Electric firmó un contrato, a precio fijo, con Jersey Central Power and Light para suministrarle una planta de 515 megavatios. Sería la primera de las doce centrales nucleares que General Electric y Westinghouse venderían en los tres años siguientes y por las que en conjunto perderían unos mil millones de dólares.[164]

En cuanto a los riesgos, recordaré dos sucesos, bien conocidos por otra parte. El primero tuvo lugar en 1979, cuando debido al bloqueo que se produjo en una cañería de

agua que refrigeraba uno de los reactores de la central nuclear comercial situada en la isla de las Tres Millas, en Pensilvania, y al fallo de unas válvulas que debían permitir que se pusiese en acción otro mecanismo de refrigeración, se produjo durante dieciséis horas una situación de auténtica emergencia, fundiéndose cerca de un tercio del núcleo del reactor número 2. La sólida y hermética estructura contenedora que rodeaba al reactor limitó la extensión de los daños causados, pero aun así se produjeron escapes de agua y gases radiactivos. Unas 140.000 personas fueron evacuadas.

El 26 de abril de 1986 fue mucho peor. Aquel día uno de los operarios de la central nuclear de Chernobil, próxima a Kiev (Ucrania), dejó que descendiera demasiado el nivel de reactividad de uno de los reactores. Al intentar subsanar su error, la potencia del reactor aumentó de forma incontrolada, produciendo una gran explosión de vapor, a la que siguió una segunda explosión del grafito que se utilizaba como moderador en el reactor. La emisión de residuos radiactivos fue lo suficientemente intensa como para alcanzar a todos los países situados en el hemisferio norte, aunque fuese en la Unión Soviética donde la contaminación de algunas zonas llegó a tal grado que hubo que proceder al reasentamiento de más de cien mil personas, haciendo necesario, además, emprender extensos programas de descontaminación. Para empeorar las cosas, el gobierno soviético mantuvo una intolerable política de secretismo, a costa de la salud de miles, acaso millones de personas (se sabe que al menos 600.000 personas quedaron expuestas de manera importante a la radiación). El primer informe público se dio el 28 de abril, y se hizo por la presión de Suecia, que por entonces ya estaba cubierta por una nube radiactiva. El día 29, la inteligencia estadounidense tomó fotografías desde satélites. En ellas se veía que el techo del reactor había volado y las paredes desmoronado. Sin embargo, el gobierno soviético continuó censurando las noticias.

EISENHOWER, LA CIENCIA Y EL COMPLEJO INDUSTRIAL-MILITAR

En 1953, el mismo año en que murió Stalin, Dwight David Eisenhower (1890-1969) fue elegido presidente de Estados Unidos, representando al Partido Republicano, siendo reelegido en 1957 para el período que finalizó en 1961. Era un militar que alcanzó el reconocimiento de su pueblo y la fama mundial como comandante de las fuerzas expedicionarias estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, puesto desde el que dirigió, en junio de 1944, el desembarco de las fuerzas aliadas en Normandía. Terminada la guerra, fue nombrado jefe del Estado Mayor de su país entre 1945 y 1948, pasando a continuación a hacerse cargo del mando supremo de las fuerzas de la OTAN entre 1951 y 1952.

Eisenhower llegó al poder en unos años difíciles, cuando se iniciaba la Guerra Fría, en la que la ciencia, en general, y el poder nuclear, en particular, desempeñaron un papel central (cuatro días antes de que tuvieran lugar las elecciones presidenciales que le llevaron a la Presidencia, el 31 de octubre de 1952, Estados Unidos detonó su primera bomba de hidrógeno). Debo, por consiguiente, ocuparme de lo que hizo, con respecto a la ciencia, durante su mandato.

Una vez instalado en la Presidencia, uno de sus primeros actos fue señalar a su secretario de Estado, John Foster Dulles, que una de las metas de su administración sería informar al público acerca de la cada vez mayor capacidad destructiva del armamento nuclear y de los peligros de una carrera nuclear sin límites. Una de las iniciativas que tomó en este sentido fue la que culminó en el denominado programa Átomos para la Paz, que tenía como objetivo la difusión al mundo civil de los beneficios de la energía nuclear.

El programa Átomos para la Paz

Para entender los planteamientos de Eisenhower, utilizaré lo que él mismo escribió sobre los recuerdos de su

primer mandato presidencial, 1953-1956:[165]

> En 1953 había pedido a C. D. Jackson que trabajase conmigo en un discurso que hiciese que el pueblo americano y el mundo se diesen cuenta del increíble poder destructivo del depósito de armamento nuclear de Estados Unidos. Él y sus ayudantes produjeron borrador tras borrador. Pero cuando terminaron, Jackson y yo estuvimos de acuerdo en que la exposición dejaba al oyente solamente con un nuevo terror, no con una nueva esperanza.
>
> En consecuencia, como escribí a un amigo, «comencé a buscar alguna idea que pudiese llevar al mundo a contemplar al problema nuclear de una forma más amplia e inteligente y que al mismo tiempo permitiese superar el *impasse* creado por la intransigencia rusa en el asunto de inspección mutua o neutral de recursos... Un día se me ocurrió la idea de llevar a cabo donaciones de isótopos procedentes de nuestro inigualable depósito nuclear, destinadas a un fondo común para propósitos pacíficos. Esto tendría que significar donaciones tanto por parte de Rusia como de los Estados Unidos, con Gran Bretaña también participando aunque de una forma menor.

Éste fue el origen del programa Átomos para la Paz, que Eisenhower presentó en un discurso ante la Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas (ONU) el 8 de diciembre de 1953. En su autobiografía, Ike escribía que «el núcleo del discurso, después de un recital del terrible horror al que se enfrentaba todo el mundo en una guerra nuclear», se incluía en los siguientes párrafos:[166]

> Para hacer que llegue antes el día en el que el miedo al átomo comenzará a desaparecer de las mentes de la gente... existen ciertos pasos que podemos tomar ahora.
>
> En consecuencia, propongo lo siguiente:
>
> Los gobiernos principalmente implicados, en la medida que lo permita la elemental prudencia, comenzarán ahora y continuarán haciendo contribuciones comunes de sus depósitos de uranio normal y materiales fisionables a una Agencia Internacional de Energía Atómica. Desearíamos que tal agencia fuese establecida bajo el patrocinio de las Naciones Unidas...
>
> La responsabilidad más importante de esta Agencia de Energía Atómica sería establecer métodos mediante los cuales este material fisionable se asignaría para servir a las empresas

pacíficas de la humanidad. Se movilizarían expertos para aplicar la energía atómica a las necesidades de la agricultura, medicina y otras actividades pacíficas. Un propósito especial sería proporcionar abundante energía eléctrica en las regiones del mundo más pobres en la generación de energía.

Y finalizaba su discurso con las siguientes palabras:

Los meses venideros se verán colmados con decisiones vitales. En esta Asamblea, en las capitales y cuarteles generales militares del mundo, en los corazones de los hombres de todas partes, ya sean gobernadores o gobernados, ojalá que las decisiones que se tomen alejen a este mundo del peligro y lo lleven a la paz.

Para lograr que se tomen estas vitales decisiones, Estados Unidos manifiesta ante ustedes y —por consiguiente ante el mundo— su determinación de ayudar a resolver el temible dilema nuclear; a dedicar todo su corazón y mente a encontrar la forma mediante la cual la maravillosa inventiva del hombre no se dedique a su muerte, sino que se consagre a su vida.

«En las circunstancias de aquel tiempo», añadía en sus memorias, «las propuestas eran revolucionarias. Unas pocas noches antes de que yo pronunciase mi discurso, Winston Churchill y Anthony Eden dijeron a Foster Dulles en las Bermudas que el pensamiento americano en asuntos atómicos estaba evidentemente a años en el futuro del británico.» Y concluía: «La prensa espontáneamente dio a la propuesta el adecuado título de Átomos para la Paz».[167] (Hay que señalar, también, que el 30 de agosto de 1954, Eisenhower firmaba una nueva ley sobre energía atómica, por la que Estados Unidos podía facilitar información y ayuda a los países amigos, a través de acuerdos bilaterales. Hasta entonces, la denominada «ley MacMahon», promulgada en 1948 y que establecía un riguroso secreto para toda investigación atómica, fuese o no de carácter militar, bloqueaba cualquier posibilidad de suministro de información.)

Aunque la iniciativa de Eisenhower fue recibida con cierto entusiasmo, poco sucedió hasta la celebración, en agosto de 1955, de la Conferencia sobre los Usos Pacíficos

de la Energía Atómica de Ginebra, con la asistencia de 1.500 delegados, que presentaron más de 1.000 comunicaciones. Entre el 27 de febrero y el 18 de abril de 1956, y cumpliendo un mandato de la anterior conferencia, representantes de doce países se reunían en Washington para planear la creación de la agencia que el presidente norteamericano había propuesto en 1953.168 En octubre, tuvo lugar otra reunión con el mismo fin, en la sede de la ONU en Nueva York, pero esta vez con la participación de delegados de 81 naciones. Finalmente, el 1 de octubre de 1957 la ONU (que ya disponía de una Atomic Energy Commission, fundada el 24 de enero de 1946, siguiendo lo establecido en su Carta Fundacional) estableció la International Atomic Energy Agency (Agencia Internacional de Energía Atómica), con sede en Viena. La misión que se le asignó fue promover la difusión de los usos pacíficos de la energía nuclear y controlar el desarrollo de las armas atómicas, tareas que, ya inmersos en el siglo XXI, continúa intentando realizar, no sin numerosas dificultades, debido a la fuerte carga política de sus objetivos (una crisis especialmente grave fue cuando aviones de la Fuerza Aérea israelí bombardearon, el 7 de junio de 1981, la planta nuclear iraquí de Tammuz; la Junta de Directores de la Agencia expulsó entonces a Israel de la organización, lo que originó la amenaza por parte de Estados Unidos de suspender sus pagos, siendo Israel como consecuencia readmitida).169

El que Eisenhower tomase semejantes iniciativas no quiere decir, en absoluto, que abandonase la investigación y desarrollo nuclear. Refiriéndose a la campaña que le llevaría a ganar las elecciones para su segundo mandato (1957-1961), en el segundo tomo de su autobiografía, Eisenhower explicó que «el tema de la política americana sobre pruebas nucleares, basándose como se basaba en consideraciones científicas al igual que de seguridad, apenas fue un tema debatido en la campaña política... Para dejar las cosas claras, emití una declaración [en octubre de 1956] que resumía nuestra posición: las pruebas continuas

seguirían siendo esenciales para nuestra seguridad hasta que pudiésemos conseguir un acuerdo con los soviéticos, uno en el que pudiésemos tener completa fe, en el que los comunistas aceptaran también detener sus pruebas. La mejor información científica disponible, la de la independiente National Academy of Sciences, indicaba que el nivel de pruebas que se estaba llevando a cabo no ponía en peligro la salud de la humanidad, mientras que nuestras últimas pruebas estaban permitiendo a los científicos desarrollar mejores métodos para reducir la lluvia radiactiva [*fallout*]».[170]

El Sputnik y la necesidad de una buena información científica

Las palabras anteriores indican que Ike se daba perfecta cuenta de la necesidad de que su nación dispusiese de la mejor ciencia. Recurriendo una vez más a su autobiografía, tenemos que allí escribió:[171]

> Detrás de todos estos otros cambios de mediados de la década de 1950 se encontraban los cambios en la ciencia, que estaban remodelando el mundo y dando origen a nuevos problemas. Cada vez más, el avión a reacción, la central nuclear, la bomba de hidrógeno o el misil balístico estaban introduciéndose en las consciencias de todos nosotros. Cuando llegué a la Casa Blanca, viajaba en un avión impulsado por pistones, el *Columbine*. Pero antes de abandonarla, mi ayudante de la Fuerza Aérea, coronel Draper, tuvo que ir a la escuela para aprender a pilotar un nuevo avión presidencial, un reactor 707. La investigación médica estaba reduciendo la tasa de mortalidad, conquistando enfermedades. Entre, por ejemplo, el año que llegué a la Presidencia y el que la dejé, la financiación federal para investigación médica en los Institutos Nacionales de Salud se multiplicó casi por diez, pasando de 59 a 560 millones de dólares. De hecho, yo sabía que un aumento de esta escala no podría producir un aumento automático correspondiente en investigación valiosa. Por un motivo: no es posible encontrar científicos graduados de la misma forma que se puede comprar equipo para los laboratorios. Pero el Congreso aumentó consistentemente las cantidades que recomendábamos para este

propósito.

Por si le quedasen pocas dudas, el 4 de octubre de 1957, en el primer año de su segundo mandato, se produjo un acontecimiento que tuvo importantes consecuencias. Me estoy refiriendo al lanzamiento del primer satélite construido por los humanos (humanos soviéticos, en este caso) que orbitó la Tierra, el Sputnik, el término ruso para «compañero de viaje». Dos horas después de que el Sputnik hubiese completado con éxito su primera órbita a la Tierra, la agencia soviética de noticias, TASS, comenzó a comunicar detalles al mundo. El Sputnik, decía TASS, estaba girando en torno a la Tierra en una órbita de noventa y cinco minutos a una altura de unas 560 millas, viajando aproximadamente a dieciocho mil millas por hora. El satélite tenía un diámetro de 22 pulgadas y un peso de 184 libras. Enviaba señales continuas de radio a la Tierra desde dos transmisores.

«Este hecho», escribió Eisenhower, «precipitó una ola de aprehensión a lo largo del mundo libre. Comentadores de periódicos, revistas, radio y televisión se unieron al hombre de la calle en expresiones de desaliento acerca de esta prueba de que los rusos ya no podían ser considerados como "retrasados" y que habían incluso "batido" a Estados Unidos en una espectacular competición científica. La gente se acordaba con preocupación ahora de que solamente unas pocas semanas antes la Unión Soviética había anunciado al mundo su primera prueba con éxito de un ICBM [*InterContinental Ballistic Missile*], un logro que, decían los soviéticos, demostraba que podían lanzar un misil "a cualquier parte del mundo".»[172]

La reacción inmediata de Eisenhower fue llamar a la Casa Blanca a James Killian, presidente del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), junto a un grupo que incluía a los físicos Hans Bethe e Isidor Rabi. Lo que pretendía era que evaluasen los programas espaciales y de defensa, así como que le aconsejasen acerca de cómo reforzar la ciencia y tecnología estadounidenses. En aquella reunión, Rabi argumentó con fuerza que el presidente

necesitaba en su equipo un «sobresaliente asesor científico a tiempo completo». Killian estuvo de acuerdo y sugirió la creación de un pequeño comité de científicos que le aconsejase en cuestiones científicas y tecnológicas cruciales, siguiendo el modelo del Consejo de Asesores Económicos. El 7 de noviembre (1957), en un comunicado difundido a todo el país, Eisenhower anunció la designación de Killian para el nuevo puesto de ayudante del presidente para ciencia y tecnología, y que el ya existente Comité Científico de la Oficina de Movilización para la Defensa sería ampliado y trasladado a la Casa Blanca. El 1 de diciembre, este Comité había sido reorganizado con Killian como *chairman* (director) y bautizado como Comité Asesor del Presidente en Ciencia (*President's Science Advisory Committee*; PSAC). Estaba formado por: Robert Bacher, William O. Baker, Hans Bethe, James H. Doolittle, James B. Fisk, George B. Kistiakowsky, Edwin Land, Edward M. Purcell, H. P. Robertson, Jerome Wiesner y Herbert York. El propio Killian manifestó más tarde que «el Comité realizó sus funciones en condiciones altamente favorables para un grupo asesor al más alto nivel, condiciones que se limitaron prácticamente sólo a los años de Eisenhower [y Kennedy]».[173] El que se limitase sólo a ellos se debe a que las ideas que sostuvieron y políticas que emplearon con relación a la investigación científica y desarrollo tecnológico los presidentes Eisenhower, Kennedy, Johnson, Nixon, Ford, Carter, Reagan, Bush padre, Clinton y Bush hijo, así como el papel que asignaron a la política científica en sus respectivos gabinetes, han sido diferentes. Parece, por ejemplo, que Nixon siempre albergó dudas sobre la importancia de la ciencia, y que sospechaba del criterio y lealtad de los científicos. Sus convicciones en este sentido se reforzaron con una serie de sucesos que se produjeron durante la primera etapa de su presidencia. Sucesos como el comportamiento de Richard L. Garwin, un físico de IBM que Kennedy ya había nombrado en 1961 para el Comité Asesor para Ciencia del Presidente y que Nixon reeligió en 1969, a pesar de que Garwin se oponía al programa de

misiles antibalísticos que defendía el presidente. Como miembro del Comité, Garwin presidió uno para estudiar un proyecto que Nixon apoyaba y daba gran importancia política: el del transporte supersónico, al que el Congreso se oponía por motivos de coste, viabilidad económica, y miedo a contaminación sónica y estratosférica. Al testificar ante el Subcomité del Congreso que debía decidir sobre si autorizar o no el programa, Garwin reconoció su pertenencia al Comité del Presidente, pero añadió: «Quiero destacar que estoy hablando ahora como un individuo y no como representante de algún grupo o persona», manifestando a continuación su oposición al proyecto. Semejante comportamiento debió reforzar las opiniones (prejuicios) de Nixon sobre los científicos; así, en una conversación que mantuvo en 1971 con alguno de sus colaboradores y que fue grabada, saliendo a la luz posteriormente, realizó comentarios vejatorios sobre sus asesores científicos (ninguno de los cuales se encontraba presente en aquel momento), proclamando su admiración por Edwin Land, el inventor de la «fotografía instantánea», responsable asimismo de la introducción de sistemas Polaroid de fotografía en los aviones espías U-2. Irritado por lo que consideraba falta de lealtad de sus asesores científicos, en 1973, tras ser reelegido para un segundo mandato, Nixon abolió el puesto de asesor del presidente para Ciencia y Tecnología, la Oficina para Ciencia y Tecnología de la Casa Blanca y el Comité Asesor para Ciencia del Presidente, cesando asimismo al director de los Institutos Nacionales de la Salud, Robert Marston, que había expresado dudas sobre la justificación de su programa favorito: la guerra contra el cáncer. Pronto, no obstante, se reestablecería el *status quo*: tras dimitir de la Presidencia en 1974, su sucesor, Gerald Ford, restableció los departamentos científicos abolidos.

Regresando a Eisenhower y al Comité científico que creó, tenemos que uno de los primeros pasos dados por Killian fue formar varios paneles para considerar problemas concretos, cada uno de los cuales estaban constituidos por miembros del Comité a los que se sumaban expertos

invitados. Entre los primeros paneles creados estuvo uno dedicado a tratar el control de armamento y la posibilidad de establecer una moratoria en las pruebas de bombas nucleares. Se trataba de una cuestión importante desde todos los puntos de vista, incluyendo el social, ya que a partir de 1950, y especialmente después de las numerosas pruebas termonucleares realizadas por Estados Unidos y la Unión Soviética, comenzaron a producirse reacciones públicas en contra de las pruebas atmosféricas de armamento nuclear, que producía grandes y altamente peligrosas «lluvias» radiactivas. En abril de 1954, un mes después de una prueba estadounidense denominada «Bravo», esa lluvia afectó cruelmente a la tripulación de un barco de pesca japonés, el *Dragón Feliz*, lo que obligó a Eisenhower a pedir a Lewis Strauss que la AEC investigase el asunto. Foster Dulles y el comité que se formó produjeron un informe que era en general contrario a la introducción de una moratoria, algo que no nos debe extrañar si tenemos en cuenta las ideas de Strauss.

Uno de los informes que recibió Eisenhower fue secreto: el preparado por un comité de distinguidos científicos (como Ernest Lawrence), hombres de negocios y militares (el general James Doolittle, *chairman* del National Advisory Committee for Aeronautics; NACA), denominado «Comité Gaither», por su primer director, H. Rowan Gaither, jr. En él se hacía hincapié en que las medidas de defensa estadounidenses eran inadecuadas para proteger a la población civil y urgía a que se tomasen medidas. En noviembre de 1957, el contenido del informe Gaither fue filtrado a la prensa. En su número del 20 de diciembre, el *Washington Post* lo llevaba a su portada. «El todavía secreto Informe Gaither», declaraba, «revela que Estados Unidos se halla ante el más grave peligro de su historia. Muestra que la nación se dirige, por un camino aterrador, a convertirse en una potencia de segunda clase. Pone en evidencia que América está expuesta a una casi inmediata amenaza de los terroríficos misiles de la Unión Soviética.»[174] No es sorprendente que semejante clima favoreciese la

intensificación de la Guerra Fría.

No obstante, tras el lanzamiento del Sputnik los soviéticos, deseosos de capitalizar su éxito y aparecer ante la opinión pública de una forma más positiva efectuaron varias propuestas en la cuestión del desarme. Una de ellas fue una moratoria en pruebas nucleares que durase tres años y que comenzase el 1 de enero de 1958. En la primera reunión del Comité Asesor del Presidente en Ciencia, a primeros de diciembre de 1957, Carril P. Haskins, presidente de la Carnegie Institution de Washington, y Rabi propusieron que se estableciese un panel sobre desarme, propuesta que fue aceptada. No puedo detenerme en este tema, pero sí mencionaré dos hechos. El primero, que a través del Comité Asesor del Presidente en Ciencia, pudieron hacer llegar sus opiniones a la Casa Blanca científicos que se oponían en cuestiones de armamento y pruebas nucleares a los poderosos Lewis Strauss, Edward Teller y Ernest Lawrence. Tras una larga y complicada historia, en julio de 1963 se firmó en Moscú un acuerdo entre Estados Unidos y la Unión Soviética que prohibía las pruebas nucleares en la atmósfera, espacio exterior y bajo agua. Este tratado tuvo efectos muy positivos para el medio ambiente, ya que eliminó casi por completo las pruebas atmosféricas con su consiguiente lluvia radiactiva; sin embargo, tuvo escaso efecto en reducir la carrera por aumentar el arsenal nuclear de las superpotencias.

Otra consecuencia del lanzamiento del Sputnik fue el establecimiento, en 1958, de la National Aeronautics and Space Administration, la NASA. En sus memorias, Eisenhower no dejó de recordarla, al mismo tiempo que se refería a otras actividades científico-tecnológicas que se llevaron a cabo durante su mandato:[175]

> En sus primeros dos años y medio de vida, la NASA amplió su presupuesto anual de unos 335 millones de dólares iniciales a 915 millones, y había empleado a dieciocho mil personas...
>
> Dentro del Pentágono, los científicos estaban trabajando en satélites para propósitos militares, incluyendo navegación, comunicaciones, reconocimiento y detección de explosiones

nucleares. A finales de 1960, Estados Unidos había lanzado con éxito 31 satélites que orbitaban la Tierra; de éstos, 16 estaban todavía en órbita. Habíamos lanzado cuatro sondas hacia el espacio profundo, dos de las cuales estaban todavía orbitando en torno al Sol. En contraste, por entonces la Unión Soviética tenía un vehículo orbitando en torno a la Tierra y uno alrededor del Sol. Aunque no habíamos igualado los logros de la Unión Soviética en construir motores de cohetes de gran potencia, un desarrollo que ellos comenzaron en 1945, habíamos reducido su ventaja y en otros sectores los habíamos adelantado.

En otro tipo de aventura científica, el submarino atómico *Nautilus*, cruzó por primera vez, el 3 de agosto de 1958, el Polo Norte bajo el casquete polar ártico. Fue seguido una semana más tarde por el submarino atómico *Skate*.

El adiós de Eisenhower

El 17 de enero de 1961, Eisenhower pronunció su discurso de despedida a la nación. En él, el presidente saliente mostró que a lo largo de los ocho años de intensa relación que había mantenido con la ciencia y la tecnología, con los científicos y los ingenieros, se había dado cuenta de la existencia de algunos peligros, en concreto de la existencia, poder y peligro que acarreaba un complejo militar-industrial, del que la investigación científica y el desarrollo tecnológico constituían piezas esenciales. Cito algo de lo que dijo entonces:176

> Hasta el último conflicto mundial, Estados Unidos no tenía industria bélica. Los fabricantes norteamericanos de arados podían, con el tiempo y según fuese necesario, fabricar también espadas. Pero ya no podemos arriesgarnos a una improvisación de emergencia de la defensa nacional: hemos sido obligados a crear una industria armamentística permanente de vastas proporciones. Además de esto, 3,5 millones de hombres y mujeres trabajan directamente para la Defensa. Nuestro gasto anual en la seguridad militar es superior a los ingresos netos de todas las grandes empresas norteamericanas.
>
> Esta conjunción de un inmenso instituto militar y de una gran industria bélica es nueva en la experiencia norteamericana. La

influencia total —económica, política, espiritual incluso— se siente en cada ciudad, cada capitolio estatal, cada oficina del Gobierno Federal. Debemos reconocer la necesidad imperiosa de esta evolución. Sin embargo, no debemos dejar de comprender sus graves implicaciones. Nuestro trabajo, recursos y subsistencia están comprometidos; también lo está la estructura misma de nuestra sociedad.

En los consejos del gobierno debemos cuidarnos contra la adquisición de una influencia desproporcionada, buscada o no, por parte del complejo bélico-industrial. Existe y seguirá existiendo el potencial para el funesto ascenso del abuso del poder.

Nunca debemos permitir que el peso de esta combinación haga peligrar nuestras libertades y procesos democráticos. No debemos dar nada por sentado. Tan sólo una masa ciudadana alerta y educada puede forzar el adecuado engranaje de la enorme maquinaria industrial y militar de la defensa con nuestros métodos y propósitos pacíficos, para que la seguridad y la libertad prosperen unidas. La revolución tecnológica de las últimas décadas ha sido mayoritariamente responsable de los grandes cambios que se han producido en nuestra postura bélico-industrial. En esta revolución, la investigación se ha hecho esencial; también se ha hecho más formalizada, compleja y costosa. Una parte en constante crecimiento se lleva a cabo para, por o bajo la dirección del Gobierno Federal.

Hoy en día, el inventor solitario que trabaja en su taller ha sido sustituido por el personal científico de los laboratorios y los campos de ensayo. De manera semejante, la universidad libre, históricamente la fuente de nuevas ideas y del descubrimiento científico, ha experimentado una revolución en la forma de realizar las investigaciones. En parte debido a sus elevados costos, un contrato de gobierno casi se convierte en un sustituto de la curiosidad intelectual...

La perspectiva del control de los científicos de la nación por parte del Gobierno Federal, la asignación de proyectos y el poder del dinero están presentes en todo momento y deben ser considerados muy seriamente. Sin embargo, al respetar la investigación y los descubrimientos científicos, debemos también estar alertas al peligro igual y opuesto de que la política pública pudiera ser capturada por una élite científico-tecnológica.

La tarea del estadista es conformar, equilibrar e integrar estas y otras fuerzas, nuevas y viejas, dentro de los principios de nuestro sistema democrático, dirigido siempre hacia las metas

supremas de una sociedad libre.

Los temores que expresó entonces Eisenhower no han desaparecido aún por completo. Continúan existiendo a nuestro alrededor, no siempre, cierto es, bajo las mismas formas. Ya no existe, por ejemplo, la Unión Soviética. La carrera armamentista es de otro carácter. Existe ahora también lo que podríamos denominar complejos industriales-médico-farmacéuticos. La influencia y poder de científicos y personas relacionadas con la tecnología son en ocasiones extraordinariamente grandes. Al exponer las ideas que presentó en su discurso de despedida a la nación, Eisenhower honró a la política a la que sirvió, dejándonos lecciones muy valiosas acerca de las relaciones entre el poder y la ciencia.

Investigación básica, tecnología e I + D militar

Aunque no me he referido a este punto, parte de lo dicho hasta el momento podría inducir a pensar que el apoyo a la investigación básica por parte de los militares norteamericanos fue comparable al que correspondió a la investigación aplicada. No es así. En general, el Departamento de Defensa no dedicó a la investigación básica más del 5 por 100 de su presupuesto para I + D, llegando posteriormente a cifras todavía menores (del orden del 3 por 100); habiéndose empleado el 95 por 100 restante en investigación aplicada.[177] ¿Es esto necesariamente malo para la investigación *básica*, para la ciencia *pura*? Por supuesto, la cuestión es debatible, pero acaso sea hasta cierto punto saludable dedicar más esfuerzos a las aplicaciones de la ciencia básica que a ésta, siempre, naturalmente, que la investigación fundamental esté también atendida. A pesar de que muchos asocien la ciencia con grandes teorías y experimentos, la historia de la ciencia no se limita a tales apartados, necesitando, y mucho, las aplicaciones. Otra cosa es, evidentemente, que sea razonable socialmente, o desde el punto de vista del

conjunto de la ciencia, que la investigación aplicada sea en gran medida la solicitada por los militares, pero desde luego ello no es necesariamente perjudicial para la física, como se puede deducir de lo visto a lo largo del presente capítulo.

Vayamos ahora a la cuestión de si es beneficioso o no para la sociedad civil estadounidense que la investigación aplicada sea mayoritariamente de carácter militar. Para ello comenzaré introduciendo algunas cifras.

El 95 por 100 citado antes se tiene que considerar desde la perspectiva de que el presupuesto de Defensa para I+D acaparó una parte sustancial de todo el presupuesto federal dedicado a I+D. En la década de los años sesenta, el porcentaje era del 80 por 100; la guerra de Vietnam, con las desilusiones y críticas que suscitó, hizo que esa proporción bajase al 50 por 100 a mediados de los años setenta, aunque posteriormente se superase esa fase, encontrándonos en la década de los ochenta con que el I+D militar correspondía a aproximadamente al 70 por 100 de un presupuesto federal para I+D que rondaba los 57.000 millones de dólares. No hace falta ser matemático para darse cuenta de que todas esas cifras implican que la industria orientada a la producción militar recibía inmensas cantidades de dinero del Departamento de Defensa. Ahora bien —y ésta es la pregunta crucial—, ¿cómo hay que interpretar semejantes cifras?, ¿fueron, por ejemplo, beneficiosas para la capacidad comercial de Estados Unidos?

Diversos estudios señalan que la competitividad comercial estadounidense apenas se benefició del I+D militar. Análisis estadísticos, en los que se considera la relación existente entre inversiones privadas y federal en I+D y crecimiento de la productividad (uno de los índices del rendimiento económico), apuntan en la dirección de que las industrias con un porcentaje por encima de la media en inversiones privadas en I+D experimentaron durante parte de la segunda mitad del siglo XX un crecimiento de productividad también por encima de la media, mientras

que no ocurrió lo mismo en las industrias con un porcentaje superior a la media de inversión federal —la mayor parte del cual fue militar— en I+D.[178] Así, a mediados de la década de 1970, el retorno medio (otro índice de rentabilidad) para el I+D privado era del 33,9 por 100, mientras que para el I+D federal era solamente del 0,7 por 100. Si nos fijamos ahora en el número de patentes en disposición de ser adjudicadas, encontramos de nuevo datos que no favorecen al I+D de carácter militar. Al final del año fiscal de 1972, las Fuerzas Armadas estadounidenses disponían de un *stock* de 14.419 patentes que podían ser contratadas; más de la mitad de ellas (8.372) pertenecían a la Marina. Es interesante señalar que solamente 73 (es decir, el 0,9 por 100) de esas 8.372 patentes estaban en proceso de ser adjudicadas. Por el contrario, el Departamento de Agricultura únicamente disponía de un número de patentes que correspondían al 17 por 100 del de las que poseía la Marina, y, sin embargo, el ritmo con el que adjudicaba patentes en el mercado era 14 veces superior al de ésta.

Son muchas las razones imaginables para explicar datos como los anteriores, algunas independientes de la nación a que se refieren, o del tipo de economía practicada, pero otras indudablemente vinculadas a las estructuras y relaciones, económicas y laborales, particulares de Estados Unidos. Me limitaré a mencionar una de las primeras, que considero particularmente importante y característica del medio militar. Por su propia naturaleza, el I+D militar está más preocupada por el desarrollo del producto que por el perfeccionamiento del proceso de producción. Dicho de otra manera: el número de copias de productos altamente elaborados (que son los sujetos a mecanismos de I+D) que las Fuerzas Armadas necesitan es relativamente pequeño, al menos cuando se compara con las cantidades que se manejan en el mercado industrial civil; como consecuencia, los militares pueden tratar tales productos de una manera casi artesanal, prestando, en definitiva, no demasiada atención a los procesos de producción en serie (lo que se

traduce en que sólo una pequeña parte del presupuesto para I+D de Defensa se dedique a la mejora de la tecnología de la manufactura). Sin embargo, la producción en serie, la manufactura, es vital para el éxito comercial en el mercado civil. Y a esto habría que añadir, además, que la precisión de los productos que las Fuerzas Armadas requieren es tan elevada, que cada vez es más difícil encontrar aplicaciones de tales productos en el ámbito público. El *Concorde* es un buen y conocido ejemplo: este avión, que se desarrolló con financiación gubernamental, fue una maravilla desde el punto de vista tecnológico, pero al mismo tiempo es un fracaso económico (como demuestra el que ya no esté en servicio), necesitándose subsidios públicos para mantenerlo en operación. La Iniciativa de Defensa Estratégica promovida por el presidente Reagan acaso habría llevado, si se hubiese mantenido, a extremos mayúsculos semejante dinámica, especialmente si tenemos en cuenta que las estimaciones relativas al costo del proyecto no bajaban de los 500.000 millones de dólares, llegando a alcanzar los 1.870.000 millones de dólares (la guerra del Vietnam costó, de 1965 a 1972, 300.000 millones).[179]

Sería ridículo, sin embargo, negar que junto a estos aspectos no se dan otros positivos. Así, el Stanford Electronics Laboratory, financiado mayoritariamente con fondos militares, resultó vital para el crecimiento de la industria electrónica en torno a la universidad, crecimiento que terminó llevando a la aparición de Silicon Valley.

Europa imita a Estados Unidos: el CERN[180]

Hasta el momento, y con la excepción de lo que sucedió durante la Segunda Guerra Mundial, me he ocupado únicamente de Estados Unidos y de la Unión Soviética, pero ¿y el resto de Europa?

Los ecos de los estallidos nucleares en Japón también se oyeron con claridad y rapidez en Europa. El 18 de octubre de 1945 los franceses creaban un Commissariat à l'Energie Atomique; once días más tarde, los británicos

anunciaban su decisión de establecer un Atomic Energy Research Establishment (lo harían en Harwell, cuyo primer reactor nuclear alcanzó el punto crítico —reacción en cadena— en agosto de 1947).

Para explicar estos desarrollos, hay que considerar, además del prestigio que la física nuclear había alcanzado tras la guerra, los movimientos europeístas que surgieron tras ésta. Así, en los primeros meses de 1948 nació la Organización para la Cooperación Económica Europea. En mayo del mismo año tenía lugar en La Haya un Congreso de Europa, al que asistieron 800 personalidades y que contribuyó de manera importante a que un año después se fundara el Consejo de Europa. Por último, recordemos que a partir de 1950 se crearon los primeros organismos comunitarios europeos, comenzando con la Comunidad del Carbón y del Acero.

En semejante escenario, con una física nuclear prestigiosa, movimientos europeístas y la constatación de que Estados Unidos avanzaba rápidamente en la investigación nuclear, como demostraba la ya mencionada creación del Brookhaven National Laboratory, cuyo modelo cooperativo no pasó desapercibido para los científicos europeos, no es sorprendente que surgieran en el Viejo Continente propuestas encaminadas a promover ese mismo campo científico. El Conseil Européen de la Recherche Nucleaire, o CERN, fue el fruto principal de tales iniciativas.

Brevemente expuesto, los pasos en el camino que conduciría al establecimiento del CERN fueron los siguientes: a finales de 1949 varias personas asociadas con los asuntos nucleares en Europa comenzaron a pensar seriamente en las posibilidades de una cooperación multinacional en el área. Las iniciativas más importantes provinieron de Raoult Dautry, administrador general del Commissariat à l'Energie Atomique francés. En la Conferencia Cultural Europea celebrada en Suiza en diciembre de 1949, se pasó una resolución que recomendaba que se procediera a estudiar la posibilidad de

crear un instituto europeo para la ciencia nuclear, «dirigido hacia las aplicaciones en la vida diaria». Seis meses después el físico de la Universidad de Columbia, Isidor Rabi, presentaba una resolución en la Quinta Asamblea General de la UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), celebrada en Florencia, invitando a la creación de laboratorios europeos, incluyendo uno de física nuclear (también mencionó la biología molecular). La propuesta fue adoptada por la Asamblea General de la UNESCO el 7 de junio de 1950.

Es interesante señalar el que parece ser fue el principal motivo detrás de la iniciativa de Rabi. «Yo quería», declaró a su biógrafo, «hacer lo que pudiese para reforzar Europa, por hacer que se sostuviese por sí misma industrial y psicológicamente, al igual que de otros modos. No veía *ninguna* razón para que nosotros [Estados Unidos] luchásemos contra los rusos —todavía pienso lo mismo—; *excepto por Europa*. Si Europa fuese independiente y tuviese un sentido de unidad, podríamos ser amigables con los rusos y considerarlos como un pueblo curioso que trata de vivir bajo esa divertida forma de gobierno. Podríamos sentir simpatía por ellos por su falta de libertad. Pero con Europa allí, existía un problema».[181]

Su iniciativa en favor de organizaciones científicas europeas debería, por tanto, servir para fomentar el «sentido de unidad» de que, en su opinión, carecía Europa. Sólo así podrían estabilizarse las relaciones entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Éste, y no otro, era el principal objetivo de Rabi.

Aunque es evidente que los científicos tuvieron que ver con los movimientos en pro de una organización de investigación nuclear europea, se puede decir que hasta este punto las iniciativas en esta dirección provenían más de medios socioculturales que científicos. Sin embargo, esta situación cambiaría rápidamente. En efecto, las sugerencias de Rabi fueron tomadas y desarrolladas en los meses siguientes por dos grupos: uno estaba formado por un puñado de especialistas en física nuclear, científicos como

Lew Kowarski, de Francia (como sabemos, un antiguo colaborador de Frédéric Joliot-Curie), y Peter Preisswerk, de Suiza, y el otro por expertos en rayos cósmicos, entre los que sobresalían el italiano Edoardo Amaldi y el francés Pierre Auger. También habría que mencionar a Dautry, ya citado, a Gustavo Colonnetti, presidente del Consiglio Nazionale della Richerche italiano, y a Jean Willems, director de Fonds National de la Recherche Scientifique belga. En diciembre de 1950 se celebró la primera reunión de científicos y administradores dedicada explícitamente al tema; fue organizada por Auger (que era también director del Departamento de Ciencias Exactas y Naturales de la UNESCO) y condujo a la propuesta de que se articulase la forma de que se construyese en Europa el mayor acelerador de partículas del mundo.

A lo largo del año siguiente Auger dirigió los trabajos encaminados a perfeccionar el proyecto, celebrándose en diciembre una conferencia intergubernamental bajo los auspicios de la UNESCO, que, de hecho, terminó patrocinando el proyecto. Finalmente, se decidió la creación de una organización temporal, el CERN provisional, que debería dar paso a la institución definitiva. En febrero de 1952 doce naciones acordaban financiar el proyecto: Bélgica, Dinamarca, Francia, Grecia, Italia, Holanda, Noruega, Reino Unido, República Federal Alemana, Suecia, Suiza y Yugoslavia (Austria se uniría en julio de 1959 y España en enero de 1961).[182] En octubre el Consejo provisional de delegados aceptó que la pieza central del laboratorio fuese un sincrotón de alrededor de 30 GeV y que éste se construyese en Ginebra. En junio de 1953 el Consejo había elaborado el texto del Convenio definitivo, que entraría en vigor en octubre de 1954, cuando se reunió por primera vez el Consejo de lo que podríamos denominar el CERN permanente.[183]

Cuando se repasa la historia de los primeros tiempos de existencia del CERN se detectan detalles cuya explicación es significativa. Así, aunque tanto los científicos franceses como los británicos señalaban a sus gobiernos desde

comienzos de 1952 que convertirse en miembros del CERN provisional no representaba ninguna obligación con relación a participar en la construcción de los aceleradores, la dirección (el Consejo) del CERN, dominada por físicos, tomó una serie de iniciativas que restringían considerablemente la libertad de maniobra futura de sus gobiernos; decidiendo, por ejemplo, comenzar la construcción de la sede central seis meses antes de que se ratificase la Convención. Si el Consejo del CERN tuvo la libertad necesaria para proceder como lo hizo, para imponer su poder científico al político, fue por diferentes motivos, en los que intereses generales se mezclan con particulares (nacionales). Por un lado tenemos que los promotores de la organización se aprovecharon del mito nuclear, de las ansiedades producidas por el comienzo de la Guerra Fría y por el deseo de reconstruir Europa. Pero es cierto también que estos argumentos no afectaban por igual a todas las naciones involucradas; explicar la génesis del CERN significa, de hecho, efectuar un delicado ejercicio en el que ciencia, política y diplomacia se combinan. Hay, por ejemplo, que tomar en consideración los intereses de naciones concretas, como Alemania, para la que formar parte del CERN significaba una manera de evitar la prohibición que le habían impuesto los Aliados de investigar en física nuclear. Por otro lado, para Gran Bretaña las motivaciones europeístas no eran importantes (de hecho, se rechazaban, como cuando en abril de 1953 el Foreign Office manifestó que el Reino Unido «debería ser capaz de demostrar al mundo que la Organización no tiene de hecho significado político como un cuerpo europeo», declaración en la que se adivina el deseo de no perjudicar sus relaciones bilaterales con Estados Unidos; para los británicos, la justificación principal al unirse al CERN era la de poder acceder a un acelerador de entre 25 y 30 GeV). Para Suiza, que gracias a su neutralidad fue elegida para albergar conferencias decisivas en las iniciativas europeístas de la época, resultaba enormemente atractivo el hecho de que Ginebra fuese elegida como sede central del CERN. Esta

ubicación también resultaba agradable para Francia, que al tener el laboratorio al lado de sus fronteras, podía aspirar a mantener una influencia cultural importante en la organización.

Por otra parte, estaba la dimensión diplomática paneuropeísta, cuya importancia se puede ver en el hecho de que el Consejo del CERN pudo, sin problemas, imponer a comienzos de 1953 una Convención que, vista retrospectivamente, era bastante extraña: no se establecían cuotas nacionales en la contratación de personal (en la práctica sólo se dieron rivalidades nacionales para los puestos de dirección), ni se intentó establecer una correlación entre el valor de los contratos industriales con el nivel de contribución de las diferentes naciones al presupuesto del CERN (esta política se mantuvo hasta los años setenta) y, por último, no existía derecho a veto en el Consejo, ni siquiera en los votos para aprobar el presupuesto: las decisiones se tomaban por mayoría, y en asuntos particularmente espinosos, excepcionales, por una mayoría de dos tercios.

El fruto de todo fue, y continúa siendo, un centro de investigación en cuyos aceleradores y departamentos teóricos se han llevado a cabo avances de primer orden en física de altas energías, adelantándose en ocasiones a los físicos estadounidenses. El CERN, aunque ciertamente oneroso, situó a Europa en un lugar de élite en una rama de la ciencia que se significó especialmente a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, mostrando un posible camino para una ciencia de élite hecha en Europa.184

El CERN y la World Wide Web

Una cuestión que con frecuencia surge a propósito de las grandes instalaciones científicas es la de si son o no rentables social y económicamente. En general, se trata de una pregunta complicada de contestar, y a la que muchos científicos suelen responder afirmativamente con argumentos más que engañosos. En cualquier caso, existen

ejemplos claros de instalaciones que han dado origen a desarrollos muy rentables socialmente. El CERN es uno de esos centros.

En su discurso sobre el «Estado de la Unión» de 1998, ante el Congreso, el presidente Bill Clinton manifestó:185 «Deberíamos hacer posible que todo el mundo explorase todas las posibilidades del ciberespacio. Piensen en esto: la primera vez que pronuncié ante ustedes un discurso sobre el Estado de la Unión, solamente un puñado de físicos utilizaban la World Wide Web, literalmente un puñado de personas. Ahora, en las escuelas, en las bibliotecas, casas y oficinas, millones y millones de americanos surcan la red todos los días».

«Un puñado de físicos», decía Clinton. Y era verdad. Un puñado de físicos en un campo, el de la física de altas energías, en el que se llevan a cabo experimentos que involucran a grupos de, con frecuencia, cientos de personas, no necesariamente residentes en el mismo lugar, ni siquiera en el mismo país y que, consecuentemente, sienten con especial virulencia cualquier problema que dificulte, o simplemente retrase, la comunicación entre ellos. Precisamente como una solución ante esta dificultad, un graduado en Física de la Universidad de Oxford, Tim Berners-Lee, propuso en 1989 la idea de la www. Es cierto que por entonces ya existía Internet, una red de redes global (cada red consiste en ordenadores conectados por cables o por enlaces sin hilos) por medio de la cual se comunican los ordenadores enviando información, que fue iniciada a finales de la década de 1960 por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, que deseaba desarrollar una red de comunicaciones que pudiese sobrevivir a una guerra nuclear, pero ni estaba todavía implantada en Europa (fue en 1989 cuando el CERN abrió sus primeras conexiones externas a Internet; en 1990 era el centro mayor de Internet en toda Europa), ni estaba libre de serios problemas. He aquí como recientemente ha descrito tales problemas el propio Berners-Lee:186

> Internet estaba en marcha en los setenta, pero transferir

información era un jaleo para una persona no experta en ordenadores. Uno ponía en marcha un programa para conectarse con otro ordenador y entonces en la conversión (en un idioma diferente) con el otro ordenador, ponía en marcha un programa diferente para acceder a la información. Incluso cuando los datos se habían transferido de vuelta al propio ordenador, decodificarlos podía resultar imposible.

Entonces se inventó el correo electrónico. El e-mail permitía enviar mensajes de una persona a otra, pero no formaba un espacio en el que la información pudiera existir permanentemente y se pudiera acceder a ella. Los mensajes eran transitorios.

La www fue una respuesta a este problema, dando a la información un lugar en el que permanecer. La forma concreta de la solución que es, técnicamente, la www queda fuera, naturalmente, de los objetivos de este libro, simplemente diré que un ingrediente crucial fue la invención —en la que Berners-Lee fue ayudado por Robert Cailliau— del HTTP (*HyperText Transfer Protocol*; Protocolo de Transferencia de Hipertexto), un protocolo de ordenador para transferir información por Internet de tal modo que pueda cumplir las exigencias de un sistema de hipertexto global, y del HTML (*HyperText Markup Language*), un lenguaje de ordenador para representar el contenido de una página de hipertexto, el lenguaje en el que están escritas la mayoría de las páginas web.

Pero lo que aquí me interesa resaltar es la ya mencionada conexión con el CERN, y para ello nada mejor que citar unos pasajes —que, por supuesto, se puede (o se podía) consultar en la red— de la propuesta inicial realizada por Berners-Lee en 1989 a las autoridades del CERN, en concreto de la sección titulada «Pérdida de información en el CERN»:187

El CERN es una organización maravillosa. Está formada por varios miles de personas, muchas de ellas creativas, que trabajan todas con un objetivo común. Aunque están nominalmente organizadas en una estructura de gestión jerárquica, esto no limita el modo en que la gente se puede comunicar y compartir información, equipo y *software* entre los grupos.

La estructura de trabajo que se observa actualmente de la organización es una red multiconectada cuyas interconexiones evolucionan con el tiempo. En este ambiente, cada vez que una nueva persona llega o alguien se hace cargo de una nueva tarea, se les suele decir con quién deben comunicarse. La información acerca de las instalaciones existentes y cómo encontrarlas viaja por los pasillos y a veces por carta, y los detalles acerca de lo que es necesario hacer se difunden de manera similar. Teniendo en cuenta todo esto, el resultado es bastante bueno, a pesar de que a veces haya malentendidos y se tengan que duplicar los esfuerzos.

Sin embargo, el gran tránsito constante de gente es un problema. La información se está perdiendo todo el tiempo, ya que la estancia media de las personas es de dos años. La introducción de nuevas personas exige una buena cantidad de su tiempo y del de los demás antes de que los nuevos tengan una idea de lo que está ocurriendo. Los detalles técnicos de proyectos antiguos a veces se pierden para siempre o se recuperan sólo por el trabajo detectivesco que se lleva a cabo tras una emergencia. A menudo la información se ha registrado; lo que ocurre es que es imposible encontrarla.

Si un experimento del CERN fuese un desarrollo estático, toda la información podría escribirse en un gran libro. Pero el CERN está cambiando constantemente a medida que surgen nuevas ideas, a medida que aparece una nueva tecnología y a fin de solucionar nuevos problemas técnicos. Cuando se requiere que haya un cambio, éste afecta normalmente sólo a una pequeña parte de la organización. Surge una razón local para cambiar una parte del experimento o detector. En este momento, hay que rebuscar para descubrir qué otras partes o personas se verán afectadas. Mantener al día el libro resulta poco práctico, y su estructura tendría que ser revisada constantemente.

La www pretendía, y lo ha logrado, resolver todos estos problemas (el progreso fue lento al principio, pero la red creció de forma explosiva después de que Mark Andreesen y sus colegas en el National Center for Supercomputing Applications de la Universidad de Illinois creasen el navegador «Mosaic» que podía mostrar no sólo textos sino también gráficos y formas interactivas). El propio Berners-Lee se daba cuenta en su pionera propuesta que la solución que proponía no afectaba únicamente al laboratorio de

altas energías de Ginebra: «Los problemas de pérdida de información pueden ser especialmente graves para el CERN, pero en este caso (como en algunos otros), el CERN es un modelo en miniatura de cómo será el resto del mundo dentro de unos cuantos años. El CERN se encuentra ahora con problemas a los que el resto del mundo tendrá pronto que enfrentarse». Una buena visión del futuro se llama eso.

Pérdida de influencia de la física de altas energías: el Supercolisionador Superconductor

El generoso apoyo que los físicos de altas energías recibieron después del término de la guerra, y la importancia para el conocimiento científico de los resultados que tan abundantemente fueron obteniendo, les permitió mantener (o resucitar) la idea de que estaban haciendo ciencia por sí misma: los problemas morales o, simplemente, profesionales de su relación con el armamento atómico podían ser, en general, pasados por alto. Todavía a finales de la década de 1950 podían insistir, sin demasiados problemas, en semejante planteamiento, como se comprueba a través de un informe hecho público por la Casa Blanca en mayo de 1959. El informe, que llevaba por título, *Un manifiesto explicativo sobre la física de partículas elementales y un Programa Federal propuesto para apoyar la física de aceleradores de altas energías*, había sido preparado, a instancias de la Comisión de Energía Atómica y del Comité Asesor para Ciencia del Presidente, por un pequeño grupo de científicos entre los que se encontraban Hans Bethe y Edwin McMillan. En él se pueden leer frases como las siguientes:188 «La física de partículas elementales... se ocupa de fenómenos muy apartados de nuestros entornos inmediatos y familiares... y procede no con vista hacia aplicaciones útiles, sino hacia el descubrimiento por sí mismo... Constituye el corazón de la física moderna, y es el producto de muchos siglos de esfuerzos por comprender el universo». Sentadas estas bases, el Comité recomendaba la construcción de un

acelerador lineal de electrones en Stanford, y que se continuase apoyando (esto es, financiando) los planes de la Asociación para la Investigación de las Universidades del Medio-oeste para la construcción de un acelerador, al igual que la posibilidad de construir otro en Oak Ridge, uno de los centros que, como sabemos, estuvieron asociados al Proyecto Manhattan. Más concretamente, el panel de científicos recomendaba que se aumentase el nivel de financiación del gobierno para investigación en física de partículas elementales.

Por entonces, sin embargo, la situación había comenzado a cambiar. Con el comienzo de la Guerra Fría (y el lanzamiento del Sputnik) se potenció la idea de «hacer del mundo un lugar seguro para la democracia», un propósito que requería grandes inversiones para el desarrollo y fabricación de nuevas armas. Ahora bien, solamente una economía en expansión constante podría sostener semejante esfuerzo. Por este camino comenzó la ciencia aplicada, la innovación tecnológica, a desbancar, en el mundo de la política, la idea de que sería de la ciencia practicada por sí misma de donde vendrían todas las soluciones. En 1968, la enmienda Daddario-Kennedy modificó la National Science Foundation en forma y en concepto, autorizando que financiase investigación aplicada al igual que básica.

De hecho, también en Europa surgieron, no mucho después de la reconversión programática de la NSF, iniciativas en el sentido de favorecer la dimensión *tecnológica* de instituciones dedicadas a la investigación, frente a la *científica*. Así ocurrió con la European Space Research Organization (ESRO), institución creada en 1964, que inicialmente fue diseñada —siguiendo en parte el modelo de la NASA— como una institución dedicada preferentemente a la ciencia y no a la técnica del espacio. Pero la dinámica de los intereses políticos, no los científicos, pronto condujo a una situación de crisis que llevó a que ESRO se convirtiese en la European Space Agency (ESA), en la que la *tecnología* espacial figuraba

dentro de sus objetivos. Explicada brevemente, la crisis que condujo a ESA surgió cuando unos pocos países, encabezados por Francia, mostraron su interés en el campo de las telecomunicaciones vía satélite. El gobierno (gaullista) francés no veía con buenos ojos la dominación estadounidense en este campo, estando, además, interesado en avanzar en el dominio de los lanzadores (cohetes para transportar los satélites). Por razones más tecnológicas que políticas (deseaban mejorar su *know-how* industrial en este campo), la República Federal Alemana y Bélgica también se mostraron interesadas en entrar en esta área, que, sin embargo, era ajena al dominio de intereses, científicos, de ESRO. Estas tres naciones argumentaron que era preciso modificar las actividades de la organización, pasando a centrarlas en las telecomunicaciones vía satélite. A finales de 1970, Francia (seguida de Dinamarca) denunciaba la Convención de ESRO. Su retirada debería hacerse efectiva el 31 de diciembre de 1971, si no se alcanzaba un acuerdo que condujese a un nuevo diseño en la orientación del programa de ESRO, que favoreciese las aplicaciones. El resultado final del paso francés fue la creación, entre 1973 y 1975, de ESA, organización cuyo presupuesto para la investigación puramente científica se limita al 10 por 100 del presupuesto total, aunque, eso sí, es obligatorio, lo que no ocurre con el resto de sus programas, que son optativos.

Volviendo al caso de Estados Unidos, tenemos que hay también que tener en cuenta que a comienzos de la década de los sesenta habían empezado a aparecer limitaciones en el presupuesto. El mayor número de científicos que habían producido las filosofías precedentes, la magnitud creciente del coste de la ciencia experimental, y los efectos de la fundación de la NASA (en particular el establecimiento, en 1961, a instancias del presidente Kennedy, del programa Apollo para que un hombre pisase la Luna) y de los Institutos Nacionales de la Salud (recordemos que en 1971 el presidente Nixon lanzó su propio «programa Apollo», sólo que en su caso era vencer el cáncer) hicieron patente que había que imponer algún criterio en la asignación de

recursos.

Este nuevo contexto hizo que la justificación tradicional de la física de altas energías tuviera que ser modificada. Los físicos de altas energías se vieron obligados a recurrir a argumentos racionales, en lugar de a razones de prestigio —cuando no a presiones políticas— para defender su pretensión de continuar ocupando uno de los lugares más altos del presupuesto. Tales argumentos consistían (continúan consistiendo) habitualmente de exposiciones de los beneficios económicos que surgirían de sus investigaciones.

El célebre Supercolisionador Superconductor (Superconducting Super Collider; SSC) fue la víctima más conocida de la nueva etapa que comenzó a abrirse por entonces. Este gigantesco acelerador, que los físicos de altas energías estadounidenses estimaban indispensable para continuar desarrollando la estructura del denominado modelo estándard, iba a estar formado por un túnel de 84 kilómetros de longitud que debería ser excavado en las proximidades de una pequeña población de 18.000 habitantes, situada a aproximadamente 30 kilómetros al suroeste de Dallas: Waxahachie. En el interior de ese túnel miles de bobinas magnéticas superconductoras guiarían dos haces de protones para que, después de millones de vueltas, alcanzaran una energía veinte veces más alta que la conseguida en los aceleradores existentes. En varios puntos a lo largo del anillo, los protones de los dos haces chocarían, y enormes detectores controlarían lo que sucediera en tales colisiones. El coste del proyecto, que llevaría diez años, se estimaba inicialmente en 6.000 millones de dólares.

Después de una azarosa vida, con parte del trabajo de infraestructura ya realizado (la excavación del túnel), el 19 de octubre de 1993, y después de una prolongada, difícil y cambiante discusión parlamentaria, tanto en el Congreso como el Senado, el Congreso canceló el proyecto. Como cabía esperar, muchos físicos de altas energías manifestaron públicamente su desacuerdo con la decisión tomada. Uno

de ellos fue Steven Weinberg, premio Nobel de Física por sus contribuciones al desarrollo de una teoría electrodébil (descripción de las interacciones electromagnética y débil en términos de un único sistema matemático). Es interesante analizar algunos de los comentarios efectuados por Weinberg en un libro, *El sueño de una teoría final*, cuyo origen debe mucho al deseo, sin duda legítimo, de este científico de dar la mayor publicidad posible a sus ideas en este tema.

Para Weinberg, los «problemas del proyecto del Supercolisionador han sido en parte un efecto colateral de cambios políticos ajenos a él. El presidente Clinton ha mantenido el apoyo de la administración al Supercolisionador, pero él se jugaba menos políticamente en ello que lo que se habían jugado el presidente Bush de Texas o el presidente Reagan, durante cuya administración se inició el proyecto. Lo que es quizá más importante, muchos miembros del Congreso (especialmente los nuevos) sienten ahora que es necesario demostrar su prudencia fiscal votando contra *algo*. El Supercolisionador representa un 0,043 por 100 del presupuesto federal, pero se ha convertido en un símbolo político conveniente».[189]

¿Por qué, habría que preguntarse, se sorprende Weinberg ante hechos como los que señala? Como hemos visto, cuando terminó la Segunda Guerra Mundial la física nuclear y de partículas elementales recibió, por razones políticas, sociales y militares, un apoyo del Gobierno Federal y del Pentágono sin precedentes en ninguna otra disciplina científica en la historia de la humanidad. Y los físicos nucleares y de altas energías no fueron receptores pasivos ante la generosidad estatal y militar, sino que se esforzaron en desarrollar todo tipo de mecanismos para acceder a los centros desde los cuales se orienta la política científica. No hay duda que el producto científico de semejante situación fue espléndido: conocemos mucho mejor las leyes fundamentales por las que se rige la materia, y este conocimiento ha penetrado, fecundando otras ramas de la física, al igual, aunque en menor grado,

que otras ciencias. En consecuencia, nadie podrá acusar a estos físicos de haber malgastado las oportunidades que se les han concedido. Pero constatar este hecho no muestra sino una faceta de la realidad. La investigación científica está condicionada por la situación política, que, a su vez, depende de las creencias sociales vigentes. Sin olvidar que es perfectamente legítimo que desde otros campos científicos se reclamen atenciones similares a las recibidas por la física de altas energías.

Weinberg no habría debido, por consiguiente, sorprenderse. Y en realidad no lo hizo. Su análisis fue agudo y perspicaz. «Durante siglos», escribía en otro lugar de su libro, «las relaciones entre ciencia y sociedad han estado gobernadas por un pacto tácito. Generalmente los científicos quieren hacer descubrimientos que sean universales o bellos o fundamentales, ya puedan preverse o no beneficios concretos para la sociedad. Algunas personas que no son científicos encuentran excitante este tipo de ciencia pura, pero la sociedad... ha estado generalmente dispuesta a apoyar el trabajo en ciencia pura principalmente porque espera que tenga aplicaciones ya sea a la tecnología o a la medicina o a la guerra. Generalmente estas expectativas se han mostrado correctas... Pero ahora este pacto parece estar en entredicho. No se trata solamente de que algunos miembros del Congreso hayan perdido su confianza en la ciencia pura; la batalla por los fondos ha llevado a algunos de los propios científicos, que trabajan en campos aplicados, a volverse contra el apoyo que recibimos aquellos de nosotros que buscamos leyes de la naturaleza. Y los problemas a los que se ha enfrentado el Supercolisionador en el Congreso son simplemente un síntoma de este desencanto de la ciencia pura.»[190]

Utilizar la expresión «desencanto», una palabra polivalente cuando no equívoca, puede inducir a error. La acepción que más fácilmente viene a la mente es la de abandonar una empresa recomendable, sino admirable. Pero tras la decisión de abandonar la construcción del Supercolisionador Superconductor hay mucho más de lo

que Weinberg indica, o sutilmente sugiere. Existen, en efecto, cuestiones, actuaciones o hechos que conviene comentar para comprender realmente lo sucedido.[191]

Un primer punto a explorar es uno que el propio Weinberg mencionaba cuando escribía, casi de pasada: «pero él [el presidente Clinton] se jugaba menos políticamente en ello que lo que se habían jugado el presidente Bush de Texas o el presidente Reagan, durante cuya administración se inició el proyecto». Comenzando por Ronald Reagan, es preciso señalar que el proyecto del SSC fue favorecido por Reagan porque encajaba adecuadamente con su megaprograma militar denominado «Iniciativa de Defensa Estratégica». Pero si los posibles —e insistentemente prometidos por los defensores del proyectado acelerador— retornos tecnológicos podían ser atractivos para el presidente y su administración, otro elemento atrajo inmediatamente la atención: el colisionador debería crear una gran cantidad de nuevos puestos de trabajo, entre cinco y ocho mil. No es sorprendente, por consiguiente, que la mitad de los estados de la Unión entrasen en la competición —iniciada el 1 de abril de 1987 — por la elección del lugar en el que debía instalarse. El 10 de noviembre de 1988, esto es, el día después de que George Bush fuera elegido presidente, el secretario de la Energía, John Herrington, anunciaba que el SSC sería construido en Waxahachie. Texas proporcionaría 200 millas cuadradas de terreno y mil millones de dólares para el proyecto. Sin embargo, algunos observadores no dejaron de señalar que el presidente electo llamaba a Texas su hogar y que la delegación tejana en el Congreso incluía al *speaker* de la Cámara, Jim Wright, y a los senadores Lloyd Bentsen, que acababa de participar en la competición electoral como candidato demócrata a la vicepresidencia, y a Phil Gramm, representante de Waxahachie.

Es posible también comprender mejor la frase de Weinberg, «se jugaba menos políticamente», si se tienen en cuenta otros hechos, además de los que acabo de señalar. Hechos como que, cuando los entusiasmos iniciales en favor

del SSC comenzaron a decaer (entre otros motivos porque en 1989 se introdujeron cambios en el diseño del acelerador que elevaron su presupuesto a 8.249 millones de dólares, y porque el Gobierno Federal parecía incapaz de cumplir la promesa realizada por Reagan y Bush al Congreso de que un tercio del coste provendría de fuentes no federales), algunos de los apoyos más importantes para el SSC llegaron de procedencias cuyas motivaciones políticas resultaban evidentes. Apoyos como el del congresista republicano archiconservador, Joe Barton, representante de Waxahachie, a quien no le importó, en un duro ejercicio de lógica, defender, por un lado, el proyecto del SSC, y por otro, en 1992, la necesidad de enmendar la propia Constitución para asegurar presupuestos equilibrados, actitud que llevó al congresista demócrata de Florida y enemigo del SSC, Lawrence J. Smith, a referirse a Barton como «obviamente un contorsionista, que está al mismo tiempo en dos lados opuestos de la política fiscal».192 Otro defensor del SSC, cuyas motivaciones eran transparentes e ilustrativas, fue el senador por Louisiana, J. Bennett Johnston, que encabezaba el Comité de Energía y Recursos Naturales del Senado, al igual que el Subcomité de Adjudicaciones para Energía y Desarrollo del Agua. Johnston había sido al principio un oponente al SSC, pero se convirtió en un gran defensor suyo cuando General Dynamics se comprometió a producir los imanes superconductores que necesitaba el acelerador, en su factoría de Hammond, Louisiana.

Si hay ejemplos transparentes de la relación entre ciencia y política y entre ciencia y sociedad, éste es uno de ellos. Y en todo lo anterior no he mencionado otros aspectos muy importantes que hay que considerar: por un lado, el cambio de sensibilidad pública, que pasó a interesarse más por cuestiones como el medio ambiente (ese interés ya estaba firmemente instalado en la conciencia pública cuando se discutía sobre el SSC), y, por otro lado, la aparición en escena, como un campo científico enormemente fecundo y, en sentidos evidentes, mucho más

próximo a los ciudadanos, de la biología molecular y de las ciencias biomédicas relacionadas con ella. A estos dominios de la ciencia dedicaré el próximo y último capítulo de este libro.

España y la energía nuclear

Continuando con mi propósito de incluir en este libro el caso español siempre que sea posible, trataré ahora, para cerrar el presente capítulo, de las actividades nucleares de España.[193]

La ausencia de grupos establecidos de física nuclear, no quiere decir, naturalmente, que no llegasen a España las noticias del lanzamiento de las dos bombas atómicas ocurrido en agosto de 1945 sobre Hiroshima y Nagasaki. Tales noticias fueron recogidas puntualmente por la prensa general. De hecho, parece que se originó una auténtica sed por conocimientos atómicos. A finales de 1945, José Ignacio Martín Artajo, S. J., un profesor de Electrotécnica del prestigioso Instituto Católico de Artes e Industrias, institución regentada por los jesuitas y dedicada a la educación tecnológica, dictó una conferencia en el propio ICAI sobre «La energía atómica. Sus características y su aplicación para fines militares». En la versión publicada de la conferencia el autor señalaba que «un número extraordinariamente elevado de Jefes Militares, de Profesores y de Ingenieros asistió a esta conferencia...; otras muchas personalidades interesadas en el tema no pudieron asistir, pero de una y otra parte se me ha hecho llegar el deseo de tener a su disposición esta conferencia por encontrarse en ella un resumen técnico claramente expuesto de las actividades puestas en juego para la fabricación de la bomba atómica, y que, sin embargo, no han sido descritas en los artículos, numerosos, por otra parte, y algunos muy interesantes, escritos al presente».

De la conferencia de Martín Artajo destacan dos rasgos: por un lado, el énfasis que se hacía en «el sigilo más impenetrable [que] ha ocultado y oculta el secreto de la

fabricación de la bomba atómica como utilización bélica de la energía nuclear. Por eso hemos de contentarnos con lo que los poseedores de ese secreto nos quieran revelar». Semejante declaración constituía una muestra, prácticamente absoluta, de indefensión científica.

A continuación, Martín Artajo no tenía reparos en reconocer que las únicas fuentes a las que había tenido acceso eran algunas revistas americanas y el «informe oficial publicado por Henry De Wolf Smith para el culto pueblo americano». Nótese cómo, de la mano del poder atómico, se iba reforzando el cambio en las simpatías ideológicas de los vencedores de la Guerra Civil: el pueblo norteamericano era, por encima de todo, «culto», y, recordémoslo, aquellos eran tiempos en los que era más intenso el aislamiento político del régimen de Franco.

De las palabras de Martín Artajo se sigue también que el célebre «Informe Smith», el informe oficial del gobierno de Estados Unidos publicado en el verano de 1945 y donde se daba cuenta del esfuerzo desarrollado por Norteamérica en la investigación nuclear con fines bélicos, fue uno de los instrumentos preferentes de información nuclear incluso en naciones como España situadas en la periferia científica y política. De hecho, en 1946 Espasa-Calpe Argentina publicaba la traducción al castellano del informe, lo que hizo, obviamente, aumentar el número de lectores españoles.

Una organización secreta: EPALE

La física nuclear no era una de las ramas cultivadas inicialmente en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la institución de investigación creada en 1939 que ya mencioné en el capítulo anterior. No obstante, en abril de 1948 un profesor italiano, Francesco Scandone, fue invitado a dar un cursillo de conferencias acerca de «Filtros interferenciales», «Láminas antirreflectoras» y «Microscopía de fase» en el recién creado Instituto «Daza de Valdés» de Óptica del Consejo. Scandone, a la sazón profesor de la

Universidad de Florencia, preguntó a los asistentes al curso si podía entrar en contacto con alguien que pudiera informarle acerca de los yacimientos de uranio en España. El director del Instituto era el ingeniero de Artillería de la Armada José María Otero Navascues, y un participante en el curso, el físico Armando Durán, jefe de la sección de Óptica Geométrica y Cálculo de Sistemas del Instituto (y futuro catedrático de Óptica de la Universidad de Madrid). Ambos, que posteriormente desempeñarían un papel destacado en el desarrollo de la energía nuclear en España, se dieron cuenta de que Scandone no hacía las preguntas de una forma desinteresada. No estaban equivocados, por supuesto. El profesor italiano mantuvo una conversación con Durán donde se puso de manifiesto el interés de un grupo de investigadores italianos por los estudios nucleares. Durán estaba bien relacionado con las autoridades de aquella época y acudió a un amigo suyo, el general Juan Vigón, entonces director de la Escuela Superior del Ejército, para hablarle de este asunto. Estaba claro que los italianos deseaban desarrollar un programa de investigaciones nucleares para el que no disponían de uranio, siendo España el único país que aparentemente podía proporcionarlo en aquel momento de la posguerra, en el que los aliados no dejaban de mostrar suspicacias hacia los italianos.

Como resultado de aquellos contactos y conversaciones se inició una colaboración entre españoles e italianos. Para dar cobertura legal y financiera al grupo de investigadores españoles que debían dedicarse a temas nucleares se fundó una sociedad nominalmente privada que fue denominada EPALE (Estudios y Proyectos de Aleaciones Especiales), amparada administrativamente por un decreto de carácter reservado en el que se la denominaba «Junta de Investigaciones Atómicas». El general Franco firmó el decreto el 6 de septiembre de 1948. En su preámbulo, se señalaba:

> Las posibilidades de explotación de la energía nuclear con fines industriales ha despertado en todas las naciones no sólo el

interés de mantener en el mayor secreto las investigaciones propias en este importante campo de la Ciencia, sino también la codicia por la adquisición de las materias primas básicas para la explotación de esta futura fuente de energía que puedan existir en otras naciones y que de no ser debidamente conocidas y controladas, pueden ser exportadas como minerales de otras clases de mucho menor valor.

Existiendo en nuestro país esta clase de minerales radiactivos, se hace preciso, por un imperativo de la economía y de la defensa nacional, conocer sus existencias y a la vez preparar un equipo de técnicos capacitados en la prospección, beneficio y utilización de los mismos con vistas a la explotación de la energía nuclear, mediante un intercambio de técnica con el extranjero y colaboración de otros países dedicados a experiencias y estudios de la materia.

Por todo ello se decidía crear una «Junta de Investigaciones Atómicas», dependiente de la Presidencia del Gobierno, con las siguientes misiones:

a) Impulsar las investigaciones precisas para determinar la situación y amplitud de los yacimientos nacionales de uranio y de otros minerales radiactivos de posible aplicación en la producción de energía nuclear.
b) Estudiar las posibilidades nacionales, o mediante intercambio, para beneficiar estos minerales, y transformar el mineral en óxido puro en escala industrial.
c) Establecer relaciones e intercambios con otros organismos extranjeros, conducentes a formar un equipo de científicos españoles en los modernos conocimientos sobre la prospección de minerales radiactivos y el beneficio industrial de la energía nuclear.
d) Beneficiar en escala experimental el material necesario para la producción de energía nuclear.
e) Preparar y proyectar la construcción de una pila termonuclear experimental.
f) Cuantas actividades juzgue la Junta convenientes al avance de las experiencias de aplicación de la energía

nuclear.

En este catálogo de intenciones cabe destacar dos puntos: primero, el deseo de no dejarse expoliar de minerales valiosos como resultado de la ignorancia o la falta de previsión, deseo justificado por la situación de penuria material existente entonces, así como por la ideología autárquica del régimen franquista, y, segundo, el reconocimiento de la carencia de científicos capaces en física atómica y nuclear. En aquellos momentos de aislamiento político del régimen se consideraba que tenía una gran importancia estratégica poseer alguna materia prima escasa apetecible a otros países, como era el caso del uranio.

A esto se puede añadir el interés industrial que podían tener las actividades de la «Junta de Investigaciones Atómicas», como se reconocía en el artículo 2°, en el que se sugería la posibilidad de su transformación en una empresa industrial (de hecho su prolongación, la Junta de Energía Nuclear, dependió desde su fundación del Ministerio de Industria).

La estructura orgánica de EPALE era muy sencilla. Se nombró un Consejo de Administración de la sociedad ficticia formado como vocales por José María Otero Navascués, que ejerció de presidente, Manuel Lora-Tamayo (entonces sólo catedrático de Química orgánica, no el ministro que sería más tarde), Armando Durán, José Romero Ortiz de Villacián y José Ramón Sobredo, oficial del Cuerpo de Intendencia de la Armada y miembro del Cuerpo Diplomático. Su sede inicial sería la del Instituto de Óptica del Consejo, aunque la primera reunión que tuvieron fue el 8 de octubre de 1948 en el Laboratorio y Taller de Investigación del Estado Mayor de la Armada.

La Junta de Energía Nuclear

El período secreto de la Junta de Investigaciones Atómicas no duró mucho, en parte debido a que las

investigaciones que se estaban llevando a cabo (alejadas, por lo que sabemos, de cualquier aplicación militar) no justificaban semejantes precauciones. El 21 de octubre de 1951 se creaba, sobre la antigua estructura del EPALE y aprovechando la posibilidad recogida en el Decreto fundacional de esta última, que preveía la necesidad de transformarlo en una empresa industrial, una Junta de Energía Nuclear (JEN). Su primer presidente fue el general Juan Vigón, con Otero Navascués como vicepresidente y manteniéndose los mismos vocales de EPALE / Junta de Investigaciones Atómicas. A la muerte de Vigón, en mayo de 1955, fue sustituido por otro militar, el general Hernández Vidal, que ocupó el cargo hasta 1958. Aunque la JEN no estaba adscrita a un ministerio militar, sus directivos sí lo eran (el propio Otero Navascués, vicepresidente y director general de la Junta, y más tarde presidente, era también, recordemos, militar).

Estatutariamente la JEN tenía como fines principales los siguientes:

– Prospección minera para el descubrimiento de yacimientos de minerales radiactivos.
– Explotación con carácter exclusivo, de los yacimientos.
– Obtención, preparación, conservación y tratamiento de los minerales y productos químicos precisos para las investigaciones y aplicaciones nucleares.
– Obtención, distribución e intervención de los isótopos radiactivos.
– Atender la formación especializada de técnicos y científicos.
– Entablar relaciones, con carácter exclusivo, con las entidades extranjeras de sus mismos campos de investigación.
– Ejecución de estudios, obras, explotaciones e instalaciones que le sean precisos. Es decir, creación de plantas piloto y fábricas prototipo.
– Asesoramiento al gobierno en materias relacionadas con la energía nuclear. En particular, proponer la

legislación pertinente.

Para llevar adelante semejante programa se establecerían varias comisiones asesoras: de Medicina y Biología Animal, de Biología Vegetal y Aplicaciones Industriales, de Reactores Industriales y de Equipo Industrial.

En el ámbito nuclear, la Junta ejercía un auténtico monopolio nuclear en España, al estilo de la AEC. En cuanto a sus labores durante los primeros años, tenemos que desde su fundación hasta la muerte de Juan Vigón, sus principales esfuerzos se dirigieron, prospecciones aparte, a construir un reactor de potencia cero, moderado por agua pesada y usando como combustible uranio natural (esto es, el isótopo 238). Asimismo, se inició la formación de personal. El segundo período va desde 1955 hasta noviembre de 1958, cuando el general Franco inauguró el Centro Nacional de Energía Nuclear «Juan Vigón», en la Ciudad Universitaria de Madrid. Hasta entonces, el personal de la JEN estuvo alojado en locales dispersos del CSIC o de la Universidad Complutense. Durante este período se comenzó a pasar de las técnicas de laboratorio a las de plantas piloto, centrándose las actividades en la construcción de un reactor de investigación con ayuda norteamericana, y de una fábrica de concentrado de materiales.

Acabo de referirme a la ayuda estadounidense, y éste es un tema que merece consideración aparte, toda vez que las relaciones hispanonorteamericanas en temas nucleares, un apartado más de la dependencia política de España con respecto a Estados Unidos en el ámbito geopolítico internacional, constituye uno de los rasgos definitorios más señalados del proyecto nuclear español.

Las relaciones en asuntos nucleares entre España y Estados Unidos

En junio de 1945, la conferencia internacional

celebrada en San Francisco, para constituir la Organización de Naciones Unidas, aprobó unánimemente la propuesta de la delegación mexicana de que la participación en la nueva organización no fuese permitida «a estados cuyos regímenes hayan sido establecidos con la ayuda de fuerzas militares pertenecientes a las naciones que han estado en guerra con las Naciones Unidas, en tanto que esos regímenes estén en el poder». Está claro que la resolución se refería a España, aunque no se citaba ningún país.

Un mes más tarde, en Potsdam, Truman, Stalin y Attlee condenaban conjuntamente a España y reiteraban que era imposible que entrase a formar parte de la ONU. Finalmente, en diciembre de 1946, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó una resolución por la que se impedía la adhesión del gobierno del general Franco en las agencias especializadas de la ONU, y recomendaba a todos los miembros de la organización que hiciesen abandonar Madrid inmediatamente a sus embajadores y ministros plenipotenciarios. Esta resolución marcó el punto más alto en el aislamiento de España tras la Segunda Guerra Mundial.

Durante los años en los que España permaneció al margen de la ONU, la postura pública del gobierno de Estados Unidos hacia nuestro país fue consistente con la resolución de Naciones Unidas, pero terminó, como es bien sabido, cambiando, por razones políticas, de geoestrategia internacional, especialmente una vez que, en septiembre de 1949, la Unión Soviética hiciese estallar su primera bomba atómica, y en junio de 1950 comenzase la guerra de Corea. España, cuyo gobierno era fieramente anticomunista, pareció a Estados Unidos, cada vez con mayor fuerza, un valioso aliado en una estratégicamente muy importante situación geográfica. La Marina y la Fuerza Aérea, en particular, presionaron a su gobierno para que reforzase sus relaciones con España (a finales de 1948 una delegación militar estadounidense visitó España). Sin duda que estos factores contribuyeron a que el 4 de noviembre de 1950 la ONU anulase su resolución de 1946, permitiendo a España

su entrada en la organización.

En 1953, la magnífica situación geográfica de España se imponía finalmente. Así, en un memorándum que Eisenhower preparó de una conversación telefónica que había mantenido (con Charles Wilson) el 14 de octubre del aquel año, se lee:194 «Es aconsejable el cese de todo desarrollo de bases en Marruecos, y hacer de las bases españolas una alternativa a las dos que habíamos pensado construir en el área marroquí. Creo que el área española será militar y políticamente más fuerte que la de Marruecos».

De hecho, menos de un mes antes de que Einsehower hubiese sostenido tal conversación, España y Estados Unidos firmaron su primer acuerdo diplomático: lo hicieron en Madrid, el 26 de septiembre de 1953, el ministro español de Asuntos Exteriores, Alberto Martín Artajo, y el embajador de Estados Unidos en España, James Clement Dunn. Considerando lo que España tenía que ofrecer, no es sorprendente que el acuerdo se refiriese a ayuda militar mutua. Estados Unidos se comprometía a «contribuir a la eficaz defensa aérea de España y a mejorar el equipamiento de sus fuerzas aéreas y navales», mientras que España autorizaba a Estados Unidos a «desarrollar, mantener y utilizar para propósitos militares, conjuntamente con el gobierno de España, las áreas y facilidades en territorio español que se acuerden».195 No pasaría mucho tiempo antes de que se comenzasen a construir (o a mejorar sustancialmente) tres bases aéreas: en Torrejón de Ardoz, Zaragoza y Morón de la Frontera (también una base naval, en Rota).

La energía nuclear, dentro del espíritu de Átomos para la Paz, no se mantuvo al margen de las nuevas relaciones hispano-americanas. El 19 de julio de 1955, Lewis Strauss, por parte de la Atomic Energy Commission, Walworth Barbour *deputy assistant* del secretario de Estado para Asuntos Europeos, y el embajador español, José María de Areilza, firmaban un convenio en Washington para cooperación «relativa a los usos civiles de la energía

atómica». Las Cortes lo aprobaron el 19 de julio, apareciendo el correspondiente decreto el 6 de enero de 1956. La fecha prevista de entrada en vigor era el 19 de julio de 1956, y la vigencia cinco años.

En virtud del convenio, Estados Unidos se obligaba a facilitar a España material fisionable, a base de uranio enriquecido como máximo al 20 por 100 en el isótopo 235 del uranio, y en cantidad no superior a 6 kilogramos. Se trataba de un préstamo, estando previsto que la devolución se hiciese en materia prima —que España sí poseía— en cantidad equivalente a la prestada. Se imponía la condición de que el material fisionable cedido sólo pudiese utilizarse como combustible en un reactor tipo «piscina», capaz de producir una fuerza equivalente a 3.000 kilowatios. El reactor se construyó, efectivamente, con las piezas básicas importadas de Estados Unidos, que, además, aportó la mitad del coste del reactor, 350.000 dólares (éstas eran otras de las condiciones del convenio). «JEN-1», como se le conoció, entró en funcionamiento el 9 de octubre de 1958. Aquel día, y con la presencia de diversas autoridades, encabezadas por el ministro de Industria, se logró en España la primera reacción en cadena autosostenida. El 27 de noviembre tuvo lugar la inauguración oficial. De entrada el reactor sólo funcionó con potencias de 100 a 200 w, pero en pocos meses alcanzó su potencia normal de 3.000 Kw. El núcleo estaba compuesto de 28 elementos combustibles de sección cuadrada, hallándose rodeado de grafito, que actuaba de reflector para los neutrones. Los elementos combustibles se componían de una aleación de aluminio y uranio enriquecido al 20 por 100, cubierta por dos láminas de aluminio; el total de U-235 empleado no llegaba a los 4 kilogramos. Como refrigerante se utilizaba una corriente de agua que circulaba por el núcleo a 16.000 litros por segundo. JEN-1 fue empleado especialmente para pruebas tecnológicas de materiales y para la obtención de radioisótopos de vida corta y media para aplicaciones en medicina, agricultura e industria.

Por su parte, el gobierno español se comprometía,

entre otras cosas, a no utilizar el material recibido con fines militares ni con otros distintos a los estipulados y a devolver los combustibles empleados cuando necesitasen ser repuestos.

Es importante señalar que, de hecho, España no recibió por parte de Estados Unidos un trato preferencial en cuestiones nucleares (en este sentido, las bases militares no ayudaron). Tratados nucleares idénticos, línea a línea, al establecido con España fueron firmados al mismo tiempo (es decir 1955) con: Turquía (10 de junio), Israel (12 de julio), China y Líbano (18 de julio), Colombia (19 de julio), Portugal y Venezuela (21 de julio), Dinamarca (25 de julio), Filipinas (27 de julio), Argentina (29 de julio), Brasil (3 de agosto), Grecia (4 de agosto), Chile (8 de agosto) y Pakistán (11 de agosto). Los únicos tratados sustancialmente diferentes fueron los establecidos con Bélgica, Canadá, Gran Bretaña y Suiza. Las minas de uranio en posesiones belgas, las estrechas relaciones políticas con canadienses y británicos y la neutralidad suiza, que hacía de ella un lugar idóneo para albergar reuniones e instituciones de carácter internacional, son las razones de semejante trato preferente. Estados Unidos utilizaba la energía nuclear no sólo para promover las aplicaciones pacíficas de ésta, sino también —acaso sobre todo— como un instrumento de propaganda cultural y de acción política.

El reactor nuclear ayudó, cierto es, a la Junta de Energía Nuclear, de la que se puede decir que fue en general una institución moderna y bastante eficaz, que además contribuyó notablemente al desarrollo de algunas ramas de la física española, como la ciencia de los materiales y la física de altas energías (la entrada de España en el CERN fue, de hecho, a iniciativa suya).

Capítulo 12

LA ERA (DIGITAL) DE LA INFORMACIÓN

En el capítulo anterior nos encontramos con el inicio de los computadores electrónicos, de la mano de, entre otros, John von Neumann, y también con la invención del transistor y de cómo este condujo a TRADIC (*Transistorized Digital Computer*), el primer computador digital (1954).[1] Aliado con internet, cuyo nacimiento también apareció en el capítulo precedente, la digitalización y los dispositivos que utilizan transistores cambiaron, literalmente, el mundo, inaugurando una nueva era, la de la Sociedad de la Información y de las comunicaciones globales. Ahora bien, esa Sociedad se vio precedida por el desarrollo del teléfono, la radio y la televisión, que finalmente también entrarían en la era digital.[2] Es necesario, por consiguiente, decir algo de estos medios de información y comunicación antes de pasar a la Sociedad Digital.

El teléfono

Cuando se repasa la historia de la invención del teléfono entre sus protagonistas primeros aparecen personas con dos tipos de habilidades, unos, como Alexander Graham Bell, con conocimientos especiales de acústica, y otros familiarizados con la telegrafía eléctrica. Otra característica de esa historia es que nos encontramos con diferentes personas que, más o menos al mismo tiempo, produjeron prototipos de teléfonos. Esto nos indica que, habida cuenta de lo que ya se conocía de la telegrafía eléctrica, no era una idea difícil de imaginar, ni un aparato excesivamente complicado de construir, al menos en sus primeras versiones: la idea que subyacía en su creación era

la de tratar de modular una corriente continua de electricidad, produciendo así pequeñas variaciones que pudiesen registrarse en el punto de recepción. James Clerk Maxwell expresó la idea de que el teléfono no era un aparato tan difícil de imaginar, en una conferencia —la *Rede Lecture*— que pronunció en mayo de 1878 en la Senate House de la Universidad de Cambridge, titulada precisamente «El teléfono» y publicada en la revista *Nature*. Citaré sus primeros párrafos:[3]

> Cuando, hace unos dos años, llegaron noticias del otro lado del Atlántico de que se había inventado un método para transmitir, mediante la electricidad, los sonidos articulados de la voz humana, de forma que se oyesen a cientos de millas de distancia del hablante, aquellos de nosotros que teníamos motivos para creer que las noticias tenían algún fundamento, comenzamos a ejercitar nuestra imaginación para pensar cómo se pudo lograr [...]. Cuando por fin apareció este pequeño instrumento formado por partes, cada una de las cuales nos es conocida y que incluso un aficionado puede reunir, el desengaño que produjo su humilde presencia solamente se vio parcialmente disminuido al comprobar que realmente servía para hablar.
>
> Quizás el teléfono, aunque simple con respecto a sus materiales y construcción, implique algún principio físico recóndito, a cuyo estudio pueda merecer la pena dedicarle una hora del tiempo de una audiencia; sólo puedo decir que todavía no he encontrado a nadie familiarizado con los primeros elementos de la electricidad que haya experimentado la menor dificultad para comprender los procesos físicos implicados en el funcionamiento del teléfono.

Teniendo en cuenta lo que decía Maxwell sobre lo sencillos que eran los principios científicos del teléfono, no es sorprendente que fuesen varios inventores, meros aficionados a la ciencia o a la tecnología, y, por supuesto, científicos, los que produjesen prototipos de teléfonos.

Habitualmente se adjudica la invención del teléfono a Alexander Graham Bell, pero si nos atenemos a las fechas, el honor de la invención del teléfono debe recaer en un peculiar personaje: Antonio Meucci (1808-1889).[4]

Meucci era italiano (nació en Florencia) pero murió en Nueva York. En Italia estudió Ingeniería química e Ingeniería industrial, pero el trabajo que encontró fue como «mecánico» en el famoso teatro Della Pérgola de Florencia; esto es, encargado de instalar y dirigir el funcionamiento de la tramoya, cuidar de los decorados, de la utilería y de los efectos escénicos. Mas esta actividad, necesaria para ganarse la vida, no ocupaba todo su tiempo: fue un ferviente patriota que participó en el movimiento de liberación italiano, algo que le condujo a la cárcel entre 1833 y 1834. Sin duda, esto contribuyó a que en octubre de 1835, y ya casado (con la librepensadora Esterre Mochi), decidiese abandonar Italia, dirigiéndose al continente americano, deteniéndose en Cuba, entonces todavía una colonia española. Se instaló en La Habana, contratado, dada su experiencia previa, como mecánico del Gran Teatro de Tacón. Durante algún tiempo, no se sabe exactamente cuándo, regresó a Italia para luchar contra los ejércitos absolutistas del Papa y de los monarcas de las casas de Borbón y de Habsburgo.

Uno de los intereses que cultivó en Cuba fue el de las aplicaciones prácticas de la electricidad, entre ellos, la *galvanización* (proceso electroquímico mediante el cual se puede recubrir un metal con otro), sobre todo de armas y botones de los uniformes del ejército: «Estaba yo familiarizado», recordó muchos años después, «con la electricidad galvanoplástica y el capitán general O'Donnell, entonces gobernador de la isla de Cuba, estaba ansioso de reducir los gastos de la galvanización de botones, empuñaduras de sable y cosas por el estilo usadas en el ejército. Le dije al general que yo podía hacerlo a menor precio del que él pagaba, simplemente si pudiera conseguir las baterías adecuadas para ese fin. En aquel tiempo, no se podían adquirir en La Habana tales baterías, pero en el año 1844, Gaetano Negretti trajo a La Habana algunas baterías galvánicas y otros enseres eléctricos que se necesitaban para la galvanoplastia».

Provisto de tal instrumentación, e influido por las ideas

del médico alemán Franz Anton Mesmer (1734-1815), quien sostuvo que existe un magnetismo animal y que era posible tratar enfermedades aplicando electricidad y magnetismo, Meucci se embarcó en una serie de prácticas médicas —destinadas, sobre todo a combatir el reumatismo, mal que sufría su esposa— de las que se derivó la invención del teléfono, pero, parece, ninguna mejora en la condición física de sus pacientes. En un documento de extraordinario interés, se reproduce una de sus respuestas cuando tuvo que declarar en el proceso legal (1885-1886) que planteó para defender sus derechos de la patente del teléfono frente a Graham Bell, Meucci explicó entonces cómo llegó a la idea del teléfono:

> Habiendo ojeado el tratado de magnetismo animal de Mesmer me vino la idea de utilizar y hacer experimentos, aplicando la electricidad a personas enfermas por orden de algún amigo doctor que quería saber si era correcto lo que decía Mesmer; y en un tiempo en el que no tenía mucho que hacer, me dediqué a darles sacudidas a diversas personas empleadas mías —negros— y alguna vez a mi esposa; por entonces había añadido a mi laboratorio una tercera habitación donde instalé un conductor eléctrico y donde producía electricidad mediante una serie de baterías Bunsen que tenía en mi laboratorio. Un día se presentó una persona conocida mía que padecía reumatismo en la cabeza. Entonces la coloqué en la tercera habitación, le puse en la mano los dos conductores que comunicaban con la batería; dichos conductores tenían en el extremo un utensilio, aislado del conductor con corcho, encima del cual había una lengüeta metálica soldada al conductor de cobre aislado que pasaba por el interior de dicho corcho y comunicaba con la batería. En mi laboratorio, donde yo tenía un instrumento igual al que él tenía en la mano, le ordené meterse la lengüeta metálica en la boca. Yo deseaba saber dónde se localizaba su enfermedad y como estaba en comunicación conmigo por el fluido eléctrico me puse el mismo utensilio a la oreja. En el momento en que la persona enferma se introdujo la lengüeta en los labios, recibió una descarga y dio un grito. En ese mismo momento percibí un sonido en mi oído. Interrumpí la operación y para prevenir la eventualidad de la descarga eléctrica que había recibido la persona, me vino la idea de remediar tal eventualidad. Tomé los dos utensilios, el

> que tenía en la mano del individuo y el mío, y los forré con un cono de cartón donde quedara aislada la lengüeta del contacto con la carne. Ordené al individuo enfermo que repitiese la operación efectuada anteriormente, y que no tuviese ningún temor de ser atacado por la electricidad y que hablase libremente dentro del cono.
>
> Lo hizo inmediatamente. Se llevó su cono a la boca y yo el mío a la oreja. En el momento que el susodicho individuo habló, yo recibí el sonido de la palabra, no clara, un murmullo, un sonido articulado. Lo repetí diferentes veces en el mismo día. Luego probé en días diferentes y obtuve el mismo resultado. A partir de ese momento, empleé la imaginación y me di cuenta de que había obtenido la transmisión de la palabra humana por medio de un hilo conductor unido con diversas baterías para producir la electricidad, a lo cual le di inmediatamente el nombre de «Telégrafo parlante». Fue cerca de finales de 1849 al 1850 cuando realicé mis experimentos sobre dicho objeto, reservándolo para mi llegada a Nueva York, ya que debía dejar La Habana entre 1850 y 1851.

Está claro que el mecanismo descubierto y utilizado por Meucci era muy primitivo y tosco, pero era la idea del teléfono. Pronto abandonó Cuba por Nueva York, a donde llegó en 1850 y donde vivió el resto de su vida. Allí construyó, hacia 1854, un aparato mucho más refinado, un teléfono, para conectar la oficina donde trabajaba con un dormitorio ubicado en otra planta y así poder comunicarse directamente con su esposa. Consciente de las posibilidades de su invento quiso patentar su «telégrafo parlante», pero como no disponía del dinero suficiente para hacerlo lo presentó a una empresa, Western Union (fundada en 1851, aunque por entonces con el nombre de New York and Mississippi Valley Printing Company), que ni le prestó atención ni le devolvió sus materiales. Se dice, pero no existen pruebas, que la compañía ni solicitó la patente ni le devolvió sus materiales, pasándoselos finalmente a Alexander Graham Bell, quien los habría utilizado en beneficio propio. Lo único que es seguro, es que el 11 de junio de 2002 el Congreso de Estados Unidos aprobó una resolución por la que reconoció que el inventor del teléfono había sido Meucci y no Alexander Graham Bell.

El mismo año que Meucci instaló un teléfono en su domicilio de Nueva York, e ignorando la existencia de semejante innovación, un francés, Charles Bourseul (1829-1912), predijo que pronto se lograría transmitir la voz humana mediante procedimientos electromagnéticos. El aparato que él esbozó era semejante al de la telegrafía con hilos: se basaba en abrir y cerrar un circuito, lo que significa que se trataba de lo que ahora denominamos procedimiento digital, no analógico (los que utilizan señales continuas). En 1861, el inventor Philip Reis (1834-1874) construyó en Alemania un teléfono según las líneas propuestas por Bourseul, pero sólo fue capaz de transmitir tonos, no frases, esto es, el habla. Aún habría de pasar más de una década para que el teléfono hiciera su aparición en escena, instalándose a partir de entonces en las vidas humanas.

Independientemente de que se deba considerar o no a Alexander Graham Bell como el inventor del teléfono, es indudable que fue un protagonista destacado en la historia de su invención.

Bell nació en Edimburgo (Escocia); su padre, Melville, se dedicaba, como su abuelo y uno de sus tíos, a la enseñanza del habla a sordos, profesión que también siguió él (su madre y su esposa eran sordas). De hecho, cuando a la edad de quince años dejó la escuela en Edimburgo se trasladó a Londres, donde vivía su abuelo Alexander, con quien pasó un año aprendiendo las técnicas de la logopedia, en las que continuó profundizando al regresar a Escocia. Uno de los trabajos que realizó entonces fue estudiar la transmisión del sonido cuando se hacían vibrar diapasones, experimentos que, sin que él lo supiera entonces, ya había realizado antes Hermann von Helmholtz, quien publicó en 1863 un monumental tratado *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (*Sobre las sensaciones de tono, como una base fisiológica para la teoría de la música*). En 1865, su familia, y Alexander con ella, se mudó a Londres. Allí, la tragedia golpeó a la familia: sus dos hermanos murieron de

tuberculosis. Y cuando sus padres advirtieron que Alexander también contraía la misma enfermedad, temerosos de que siguiese el destino de sus hermanos, vendieron rápidamente todas sus posesiones y dejaron Inglaterra con destino a Canadá, adonde llegaron en 1870 y donde Bell continuó con sus estudios sobre la transmisión del sonido mediante electricidad; diseñó, por ejemplo, un piano, o «telégrafo armónico», que podía transmitir música a distancia. En 1872, siguiendo a su padre, que había conseguido un puesto en la Escuela de Boston para Sordomudos, se trasladó a Boston (Estados Unidos), abriendo una escuela con el pomposo nombre de «Fisiología y Mecánica Vocales del Habla». Aquello le dio la seguridad económica suficiente para continuar con sus estudios sobre formas de transmitir sonidos articulados a distancia, finalmente los propios del habla, mediante cables y electricidad.

El 10 de marzo de 1876, Bell ya disponía de un teléfono. Con él transmitió a su ayudante, que se encontraba en otra habitación, unas palabras que se hicieron famosas: «Mr. Watson, come here, I want to see you» («Sr. Watson, venga aquí, quiero verle»). Y el mismo año presentó su invento en la Exposición Universal que se celebró en Filadelfia, para celebrar el primer centenario de la Declaración de Independencia de Estados Unidos (inaugurada el 9 de mayo, la Exposición cerró sus puertas el 10 de noviembre: la habían visitado 9.789.392 personas).

Se dispone del testimonio de una persona más que notable, de lord Kelvin-William Thomson, de alguna de las circunstancias que rodearon la presencia del teléfono de Bell en aquella memorable Exposición. Kelvin fue invitado a formar parte del jurado debía evaluar los instrumentos de precisión, investigación e ilustración presentados en la Exposición. Llegó a Filadelfia el 28 de junio, encontrándose con que había sido nombrado presidente del jurado, entre cuyos miembros se encontraba otro notable científico, el estadounidense Joseph Henry. Una de las obligaciones de los miembros del jurado era la de escribir informes sobre

los aparatos presentados, entre los que se encontraba también —un hecho este que habitualmente no se menciona— otro teléfono, competidor del de Bell, el de Elisha Gray, al que me referiré enseguida. De los 385 informes producidos, Kelvin preparó al menos 41: el del «Teléfono y telégrafo múltiple de Graham Bell» era uno, pero también el del «Teléfono eléctrico y telégrafo múltiple de Elisha Gray» (y un tercero sobre el «Telégrafo automático de Edison»).

El escrito de Kelvin sobre el teléfono de Bell contiene pasajes que merecen la pena reproducir: «Además de su telégrafo electro-fonético múltiple, el Sr. Graham Bell muestra un aparato con el cual ha conseguido un resultado de transcendental interés científico: la transmisión de palabras habladas mediante corrientes eléctricas a través de un cable telegráfico». A continuación describía el método empleado por Bell: «Para obtener este resultado, o para dar un primer paso hacia él —la transmisión de diferentes tipos de sonidos, como los sonidos de las vocales—, el Sr. Bell se dio cuenta de que debía producir una variación de la intensidad de la corriente en el cable telegráfico tan próxima como fuese posible a la magnitud exacta de la velocidad de una partícula de aire que es movida por el sonido; e inventó un método para hacerlo: una pieza de hierro unida a una membrana, que se movía en consecuencia hacia adelante y hacia atrás en el entorno de un electroimán, método que ha demostrado tener un éxito perfecto». Traducido a un lenguaje algo más sencillo, podríamos decir que el primer teléfono de Bell estaba formado por una membrana de pergamino que vibraba cuando llegaban a él las ondas sonoras. Un muelle sujetaba una pieza de hierro de forma que ésta tocaba suavemente la membrana, y cerca de la pieza de hierro se situaba el polo de un electroimán formado por una bobina y el núcleo de un imán; cuando el pergamino y el hierro vibraban, variaba el campo magnético del imán induciéndose una corriente eléctrica en la bobina (un fenómeno que, recordemos, había puesto de manifiesto Faraday). Si se conectaban dos

aparatos iguales, la corriente producida por uno alimentaba el electroimán del otro, haciendo vibrar su pieza de hierro y en consecuencia la membrana unida a él, reproduciéndose de esta forma las ondas sonoras producidas por la voz. Así, los sonidos transmitidos circulaban en los dos sentidos, siendo esta una de las características que distinguían a la radio del teléfono (otra era, por supuesto, el que aquélla no utilizaba cables y el teléfono sí).

«Cuando presioné mi oído al disco», escribió Kelvin, «oí con claridad varias frases, primero simples monosílabos, "*To be or not to be"* [Ser o no ser] (maravillosamente claro); después frases de un periódico, "*S. S. Cox has arrived"* [el S. S. Cox ha llegado] (no pude oír "S. S. Cox", pero "*has arrived*" lo oí con perfecta claridad); después *"City of New York"* [Ciudad de Nueva York], "*Senator Morton"* [Senador Morton], "*The Senate has passed a resolution to print 1.000 extra copies*" [El senado ha aprobado una resolución para imprimir 1.000 copias más], "*The Americans in London have made arrangements to celebrate the Fourth of July*" [Los americanos de Londres ha hecho preparativos para celebrar el Cuatro de Julio]. No necesito decir que me vi sorprendido y encantado [...]. Ésta, probablemente la mayor maravilla lograda hasta el momento por el telégrafo eléctrico, se ha obtenido con piezas de un carácter bastante rudimentario y casero. Con planes algo más avanzados y aparatos más poderosos, podemos esperar con confianza que el Sr. Bell nos proporcionará medios de producir voces y palabras habladas audibles a través del cable eléctrico a un oído a cientos de millas de distancia.»

Fue seguramente Kelvin quien informó a Maxwell del nuevo invento; más aún, a su regreso a Glasgow, Kelvin aprovechó que en septiembre tuvo lugar en esa ciudad, en la que él era catedrático, la reunión anual de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (eran multitudinarias y bien seguidas por la prensa), para mencionar el teléfono en la conferencia que pronunció como presidente de la Sección de Física y Matemáticas: el teléfono era para él, «de lejos la más grande de todas las maravillas del telégrafo

eléctrico».

Del informe de Kelvin resulta evidente que quedó impresionado por el aparato de Bell, al que auguraba un gran futuro. Habida cuenta de que también estudió el teléfono de Gray y que, sin embargo, no dedicó a éste palabras tan elogiosas, cabe suponer que consideró que era inferior en prestaciones al de Bell. En cualquier caso, lo que es seguro es que Elisha Gray (1835-1901) fabricó un teléfono de manera prácticamente simultánea a Bell; de hecho, presentó una solicitud de patente el mismo día que Bell, el 11 de febrero de 1876, pero dos horas después de que el inventor escocés hubiese hecho lo propio. A pesar de que Kelvin resaltase la contribución de Bell, en general se considera que el sistema desarrollado por Gray era superior al de Bell, algo en principio razonable ya que aquel poseía una formación más sólida en el mundo de la electricidad: era ingeniero eléctrico (*electrician*, «electricista», se denominaban entonces, mientras que ahora lo llamaríamos seguramente «ingeniero de telecomunicaciones») y con experiencia como inventor en el mundo de la telegrafía (en 1867, por ejemplo, registró una patente que mejoraba los sistemas de telegrafía existentes) y en el de la empresa, como prueba el que, en 1872, fue uno de los fundadores de la Western Electric Manufacturing Company, que años más tarde (1915) y bajo el nombre de Western Electric Company se convertiría en la rama manufacturera de la poderosa American Telegraph and Telephone (ATT). La coincidencia de las patentes solicitadas por Bell y Gray, en un negocio que se aventuraba como muy lucrativo, dio origen a un largo pleito sobre la prioridad de la patente, en el que Bell se impuso finalmente (1879) a Gray. En realidad, o formalmente, la batalla legal fue entre la Western Union, la gran compañía centrada entonces en la telegrafía que ya nos apareció anteriormente y a la que Gray pronto vendió los derechos de su patente, y la Bell Telephone Company, que había sido creada, con base en Boston, en julio de 1877 por el suegro de Bell, Gardiner Greene Hubbard. El resultado condujo a que Western Union

se retirase del mercado de la telefonía, y que la Bell Telephone Company se uniese con la New England Telephone and Telegraph Company.

También Edison se interesó por la forma de transmitir sonidos. Se sabe que se dedicó a investigar la telegrafía acústica de manera intermitente desde mediados de 1875, utilizando ocasionalmente la voz como una fuente de sonido, pero no comenzó a trabajar seriamente en el teléfono hasta comienzos de julio de 1876, después de que le informaran del aparato de Bell. Durante los siete meses siguientes, el personal de su laboratorio se dedicó a la investigación telefónica de forma secundaria, intensificándose a comienzos de 1877, cuando Edison estaba negociando un nuevo contrato con la Western Union. A mediados de año, el teléfono constituía el principal asunto de trabajo en Menlo Park, donde estaba el laboratorio de Edison, y permaneció siéndolo hasta la siguiente primavera. De hecho, Edison presentó 9 solicitudes de patente en Washington durante 1877, de las cuales 8 le fueron concedidas. Los trabajos de Edison sobre el teléfono estuvieron centrados en el transmisor. Como vimos, en el sistema de Bell la voz del que hablaba producía vibraciones en una membrana que casi tocaba el núcleo de un imán y cuyo movimiento creaba corrientes inducidas en el cable enrollado alrededor del imán, corrientes que recreaban la voz en el receptor del teléfono. Edison creía que tales corrientes eran demasiado débiles para ser prácticas y enfocó el problema de forma diferente. Su sistema tenía una batería que producía una corriente en la línea telefónica y buscó disposiciones en las que el sonido produjese fluctuaciones en la intensidad de la corriente. Estaba buscando por encima de todo una manera estable de producir variaciones máximas en la señal. En el curso de sus investigaciones reexaminó varias veces el transmisor de Bell y otros esquemas, pero su principal línea de trabajo eran los transmisores de resistencia variable o de corriente variable.

Pero no es mi intención detenerme en cuestiones de

este tipo, sino en otros detalles. En primer lugar, lo anteriormente relatado muestra que en el desarrollo científico-tecnológico pueden intervenir a veces circunstancias casuales: Edison era bastante sordo, pero ese defecto tuvo sus ventajas, como recordó en unas notas autobiográficas:5 «Esta sordera», anotó allí, «ha constituido una gran ventaja para mí en varios sentidos. Cuando trabajaba en una oficina de telégrafos solamente podía oír directamente el instrumento de la mesa en la que me sentaba, y al contrario que otros operadores no me preocupaba por los otros instrumentos. Asimismo, cuando estaba realizando experimentos sobre el teléfono, tuve que mejorar el transmisor de manera que yo lo pudiese oír. Esto hizo que el teléfono fuese comercial, puesto que el teléfono de Bell era demasiado débil para ser utilizado comercialmente como un transmisor». El segundo detalle que quiero mencionar tiene que ver con la dimensión empresarial del teléfono, a la que ya me he referido. Citaré para ello una carta que Peter Dowd, un constructor de telégrafos de Boston que se convirtió en agente de los teléfonos de Gold and Stock Telegraph Company, dirigió el 12 de mayo de 1877 a Edison:6

> Querido señor:
>
> En los últimos días he visto anuncios en uno de nuestros periódicos de que usted tenía un nuevo sistema de teléfonos llamado el Motograph. Si ha perfeccionado este aparato de forma que sea tan fiable como el teléfono de Bell, yo puedo venderlo como rosquillas, ya que la gente de esta ciudad está preparada para hablar con cualquiera por un teléfono. Están totalmente dispuestos a ello, y aunque sé que el sistema de Bell está lejos de ser perfecto y no está calculado en su forma actual para ser utilizado de manera práctica, él está hablando libremente con la gente para vendérselo y ya dispone de varias líneas para semejante propósito. De hecho, propone tomar posesión de toda la telegrafía privada de la ciudad y constituir un monopolio.
>
> Yo poseo en esta ciudad sesenta líneas de telegrafía y, por supuesto, todos mis clientes están interesados en el teléfono. Me gustaría ponerme en contacto con usted tan pronto como sea posible y no tengo duda de que podría vender un gran número

en Boston y en sus alrededores. Querría poner uno en mi oficina y mostrárselo al público. Hágame saber de usted. Suyo respetuosamente.

El teléfono, como vemos, era un negocio atractivo y claramente lucrativo.

DESARROLLO DE LA TELEFONÍA
(Miles de teléfonos existentes)

	1880	*1890*	*1900*	*1913*	*1926*
EE. UU.	54	233	1.356	9.452	16.935
Canadá	2	20	52	499	1.144
Alemania	?	59	286	1.420	2.588
Gran Bretaña	2	46	200	780	1.379
Francia	?	23	69	330	737
Europa	?	210	890	4.012	7.479
Mundo	59	475	2.490	14.600	27.783

Inicios de la telefonía en España

Como se deduce de la carta de Peter Dowd a Edison, la implantación del teléfono se produjo inicialmente mediante redes locales, más o menos extensas. Fue a finales del siglo XIX cuando comenzaron a establecerse redes nacionales y se iniciaron las primeras conexiones internacionales. El Reino de España constituye un buen ejemplo en este sentido. Las primeras demostraciones con un teléfono no se realizaron en la Península, sino en territorios ultramarinos, en La Habana, el 8 de octubre de 1877, con una conexión entre el cuartel de bomberos y el domicilio de un industrial, el señor Muset. En la Península, la localidad pionera fue Barcelona, donde se efectuaron pruebas el 16 de diciembre de ese mismo año, entre dos salas alejadas de la Escuela Industrial. Diez días después, la compañía Dalmau e Hijo estableció una conferencia telefónica entre Barcelona y Gerona. En Madrid, los primeros ensayos se realizaron muy poco después, el 2 de enero de 1878. Tras aquellos primeros pasos (y otros parecidos que no detallaré), la implantación del teléfono en España pasó por períodos en los que se optó alternativamente por un monopolio estatal y por concesiones privadas, desarrollándose sobre todo esta

última vía, la de las compañías particulares, que solicitaban al Estado la concesión de un determinado territorio (generalmente un radio de 15 kilómetros). Si su solicitud era aprobada, tenían el derecho de explotar líneas telefónicas en ese ámbito geográfico durante un período limitado de tiempo, generalmente cuarenta años, tras el cual la concesión revertía al Estado.

Esa vía privada condujo a que a comienzos del siglo XX la red de servicio telefónico española fuese muy irregular: como es natural, las empresas particulares tendieron a cubrir las regiones más rentables, circunscritas a las zonas urbanas donde era posible tener más abonados. La más importante de esas empresas fue la Compañía Peninsular de Teléfonos, constituida en 1895, que obtuvo la concesión de la red interurbana en 1899. Esa concesión constituía un problema para la Diputación de Guipúzcoa, que en 1906 se planteó establecer una red provincial. Sin embargo, y a pesar de la oposición de la Compañía Peninsular, la Diputación consiguió la autorización del gobierno central. Completada en 1910, y pese a que por entonces la red catalana, promovida por la Mancomunitat, se desarrollaba con rapidez, aún en 1921 la red de Guipúzcoa era la más extensa de España: tenía 216 abonados por cada 100 km2, 82,7 kilómetros de red urbana y 134 de red interurbana. Y por cada 1.000 habitantes tenía 15 abonados, alcanzando un nivel parecido al de Gran Bretaña (15 abonados) o Alemania (20), por encima de Bélgica (4), Francia (7) e Italia (3), aunque lejos de Dinamarca (75), Noruega (51), Suecia (61) y Estados Unidos, líder con 128 abonados por millar de habitantes. En el resto de España, los siguientes puestos correspondían a Barcelona y Madrid con 11 abonados por mil cada una.

En 1924 se inició el proceso de implantación de una única empresa telefónica en España, esto es, un monopolio. El gobierno, el Directorio militar presidido por el general Primo de Rivera, realizó una convocatoria para otorgar la correspondiente concesión, que obtuvo la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE), creada por la

empresa estadounidense International Telephone and Telegraph Corporation (ITT), que en 1923 había adquirido la Compañía Peninsular de Teléfonos. El Real Decreto de 25 de agosto de 1924 que aprobó la concesión, detallaba las condiciones a las que se comprometían la nueva empresa y el Estado: éste no otorgaría más concesiones ni realizaría transferencias a ayuntamientos, cediendo además todas las redes que entonces gestionaba el Cuerpo de Telégrafos. Por su parte, la CTNE debería negociar la compra de las redes a los concesionarios a los que aún no hubieran caducado sus derechos. Asimismo, la nueva Compañía Telefónica Nacional se comprometía a establecer el servicio telefónico internacional con «Europa, Islas Británicas, África y otros territorios» (el 30 de diciembre de 1924 quedó establecida la conexión entre el gobierno y la Alta Comisaría de España en Marruecos, a través del primer cable telefónico submarino propiedad de la CTNE), a extender el servicio automático por toda España, en cinco años a 17 capitales de la Península, las principales, y a implantar el servicio telefónico interurbano a todas las capitales de provincia y cabezas de partido judicial con más de 8.000 habitantes. Comenzó entonces la era moderna de la telefonía en España.

La automatización del servicio, a la que acabo de aludir, constituyó uno de los grandes problemas, y de los grandes objetivos de la CTNE. De lo que se trataba era de sustituir el primitivo mecanismo de operadores (prácticamente siempre *operadoras*, una manifestación más de la posición que se adjudicaba a la mujer por entonces: se las consideraba aptas para tareas rutinarias, y por supuesto, muy tediosas, pero no para otras, como, sin ir más lejos, acceder a una educación superior) que establecían manualmente las conexiones. Era, en definitiva, un problema de tecnología, que con el tiempo se resolvió (la primera central automática, en Santander, fue inaugurada el 26 de agosto de 1926 por el rey Alfonso XIII).

DESARROLLO DE LA TELEFONÍA EN ESPAÑA
(Número de teléfonos)

Teléfonos
4
5
6
11
11
12
23

La radio

En el capítulo 2 ya apareció Guglielmo Marconi y cómo fue desarrollando poderosas técnicas de transmisión de señales electromagnéticas, pero es conveniente elaborar ahora algo más lo que se esbozó allí. Y lo primero que hay que decir es que con Marconi, y con otros ingenieros, se abrió un nuevo mundo de transmisión-comunicación cuyas posibilidades eran en principio difíciles de prever, como reconocía Hans Hildebrand, presidente de la Real Academia Sueca de Ciencias, en el discurso de presentación del Premio Nobel de Física que compartieron en 1909 Marconi y Carl Ferdinand Braun:

> Los descubrimientos e inventos que la Real Academia de Ciencias ha decidido reconocer este año con el Premio Nobel de Física tienen su origen en trabajos y estudios puramente teóricos. Importantes como fueron esos trabajos en sus campos particulares, nadie podría haber imaginado al principio que conducirían a las aplicaciones prácticas que vinieron después [...]. Los investigadores e ingenieros se esfuerzan incesantemente en el desarrollo de la telegrafía sin hilos. Adónde conducirá este desarrollo es algo que desconocemos.

Efectivamente, era difícil prever lo que vendría a continuación, pero aquella oscura cortina se fue levantando gracias a una serie de innovaciones de pioneros de aquel nuevo mundo.[7] Uno de estos pioneros fue Reginald Fessenden (1866-1932), quien durante un tiempo trabajó en el laboratorio de Edison. En 1892, el año en que Edison se unió con Thomson-Houston para formar General Electric,

dejó ese trabajo, pasando al año siguiente a ocupar una cátedra de Ingeniería Eléctrica en la Western University de Pensilvania (más tarde renombrada Universidad de Pensilvania), donde permaneció hasta 1900 cuando se incorporó al Servicio Meteorológico de Estados Unidos con el propósito de experimentar con la transmisión inalámbrica en la costa atlántica. Allí desarrolló diversos instrumentos de transmisión y recepción de señales electromagnéticas que mejoraban los que estaba utilizando Marconi; entre ellos un transmisor de chipa de alta frecuencia con el que el 23 de diciembre de 1900 consiguió transmitir la voz humana —telefonía sin hilos— desde Cape Rod, un logro por el que a menudo se le considera el inventor de la radio.[8] En 1902 dejó el Servicio Meteorológico y provisto con trece patentes de varias mejoras para la telegrafía inalámbrica y con el capital de dos ricos banqueros de Pittsburg, en diciembre de aquel año formó su propia compañía, la National Electric Signaling Company (NESCO). Pero no era demasiado bueno en el arte de los negocios empresariales en un campo que cambiaba constantemente.[9]

Especialmente importantes fueron otras dos innovaciones: la válvula con dos electrodos (o *diodo*) que inventó en 1904 el ingeniero eléctrico británico John Ambrose Fleming (1848-1945), y la del *tríodo* (también denominado inicialmente «audión») desarrollado en 1906 por Lee De Forest (1873-1961), con el que fue posible enviar señales más potentes y transmitir sonidos —como música o diálogos— en lugar de pulsos de señales.[10] Al igual que Fessenden, De Forest, que había estudiado en la Universidad de Yale, doctorándose con un trabajo sobre radio-ondas, también se embarcó en los negocios, compitiendo y a menudo litigando con Marconi, pero fue éste quien supo navegar mejor en las turbulentas aguas de un mundo en el que el desarrollo tecnológico tenía que compartir protagonismo con las habilidades empresariales. En palabras de Marc Raboy, biógrafo de Marconi:[11]

> Fessenden y De Forest fueron los primeros innovadores que

cuestionaron seriamente los fundamentos técnicos y conceptuales de Marconi y que llevaron la comunicación inalámbrica a una nueva dirección que Marconi pronto seguiría también. Pero nunca volverían a representar una amenaza al dominio de Marconi en este campo, ni en Estados Unidos ni en ningún otro lugar. Los dos pasaron la mayor parte del tiempo durante las siguientes décadas luchando en juicios, algunos de los cuales enfrentaron entre sí a sus respectivas compañías. Fessenden continuó teniendo debilidad por Marconi. En mayo de 1906 propuso que se unieran los sistemas de Fessenden, una propuesta que la compañía American Marconi consideró interesante y recomendó a Londres que la considerase. También escribió una carta al *Times* apoyando la posición de Marconi después de la segunda conferencia internacional sobre la radio celebrada en Berlín en 1906. Por lo que se refiere a De Forest su actitud hacia Marconi se fue suavizando con el tiempo, lo mismo que sucedió con Marconi respecto a él; en sus últimos artículos —una vez que De Forest ya no fuese una amenaza— Marconi a menudo alabó la contribución de De Forest. Los dos nunca se vieron, aunque parece que Marconi intentó contactar a su antiguo rival durante la visita que realizó a Estados Unidos en 1933. El día en que murió Marconi, De Forest hizo pública una cálida declaración recordando sus «muchas intensas competitivas batallas dentro y fuera de los tribunales de patentes», resaltando el «trabajo pionero de Marconi y su atrevida visión», considerándole «incuestionablemente» el primero que transmitió sin hilos señales a través del espacio, lo que le daba perfecto derecho a ser considerado «el padre de la telegrafía sin hilos».

Si no el padre de la radio, sí fue Marconi quien con más éxito la impulsó. Entre el 23 de febrero y el 6 de marzo de 1920, y utilizando un transmisor con una potencia de 15 kilovatios y una antena que se extendía entre dos mástiles de 137 metros de altura, la compañía de Marconi pudo emitir diariamente conciertos desde Chelmsford, en Essex (Inglaterra). Para lograrlo tuvo que utilizar, como se indicó en el capítulo 2, ondas electromagnéticas de longitud de onda más pequeña (más *corta*) que las que había empleado hasta entonces. Un problema con el que se había encontrado es que las ondas electromagnéticas que utilizaba mostraban una capacidad de transmisión muy

reducida durante el día, algo que la física conocida entonces no permitía explicar. Por el contrario, en octubre de 1923 demostró que ondas de 30 metros de longitud, una pequeña fracción de las ondas que había estado utilizando hasta entonces, podían alcanzar distancias muy grandes sin sufrir interferencias con la luz del Sol. En julio de 1924 la Compañía Marconi consiguió un contrato con el gobierno británico para conectarse con todo el imperio mediante estas transmisiones de longitud de onda corta. Tres años después, todo el planeta quedaba conectado por ese tipo de transmisiones. Antes, el 14 de noviembre de 1922, se había creado una compañía «de radio», la British Broadcasting Company, la luego famosa BBC, que comenzó a emitir diariamente, incluyendo en su programación, a partir de 1924, programas educativos.

Al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, la primera compañía en recibir una licencia de radio fue la KDKA, en Pittsburg. Su primera emisión tuvo lugar el 2 de noviembre de 1920. Y el ejemplo se propagó rápidamente: mientras que en 1921 únicamente existían dos emisoras de radio en Estados Unidos, en 1925 ya operaban más de 500 (más varios miles no autorizadas, que emitían con potencias bajas). Además, en 1922 George Front instaló un aparato receptor de radio en un automóvil fabricado por Henry Ford, el famoso modelo T, del que se vendieron millones, con lo que crecieron significativamente las posibilidades del nuevo medio.

Otra innovación de gran futuro se produjo en 1933, cuando el ingeniero e inventor estadounidense Edwin Armstrong (1890-1954) patentó una variante del sistema utilizado hasta entonces: la *frecuencia modulada* (FM), que utilizaba un ancho de banda más amplio, con la ventaja añadida de que se producía menos ruido de fondo, por lo que era preferible, sobre todo, para la emisión de música de alta fidelidad. General Electric introdujo el sistema en 1938.

En España, la telegrafía sin hilos se había utilizado por primera vez en el Cuartel de la Montaña de Madrid en

diciembre de 1899, utilizándose dispositivos diseñados por el comandante Julio Cervera Baviera (1854-1927). En marzo de 1902 se constituía la Compañía de Telegrafía y Telefonía sin Hilos. Los primeros ensayos de radiodifusión se llevaron a cabo en 1910, utilizando una emisora instalada en el Palacio de Comunicaciones de Madrid. En 1917 se creaba la Compañía Ibérica de Telecomunicación para la fabricación de equipos transmisores y receptores de telegrafía y radiotelefonía. Para demostrar la eficacia de sus equipos, esta compañía transmitió en 1919 algunos conciertos musicales, captando con un micrófono los sonidos de un fonógrafo. En 1922, se fundaba el Radio-Club de España, dedicado al fomento de la radio. Dos años después, Radio Ibérica, que había surgido de la fusión de la Compañía Ibérica de Telecomunicaciones con la Sociedad de Radiotelefonía Española, inició emisiones diarias, que tuvieron bastante éxito (pronto su producción de receptores de radio fue de 1.500 unidades al mes). La primera licencia oficial para la instalación de una emisora, la concedió la Dirección General de Comunicaciones a Radio Barcelona; entró en servicio el 15 de octubre de 1924. A partir de entonces, poco a poco, la radiodifusión fue extendiéndose en España: un momento destacado en esa historia fue la creación en 1937, esto es, en plena Guerra Civil, de Radio Nacional de España, una iniciativa del gobierno del general Francisco Franco, que se dio cuenta de las posibilidades propagandísticas del medio.

El siguiente paso en el desarrollo de la radio se produjo después de la Segunda Guerra Mundial, en la que se reafirmó el papel de las telecomunicaciones, estimulando los procesos de innovación (renovación de redes, introducción de nuevos servicios, formación de ingenieros). Como sabemos, esto fue posible gracias a la invención del transistor, que hizo posible sustituir las válvulas que se utilizaban hasta entonces, que consumían mucha energía, tardaban en calentarse hasta poder empezar a funcionar y, luego, se calentaban demasiado con el uso.

Aunque se tienda a no reparar en ello, también la televisión es deudora de ideas y desarrollos que tuvieron lugar en el siglo XIX. Uno de estos inventos fue el disco que elaboró en 1884 el alemán Paul Nipkow (1860-1940). Tenía 24 agujeros repartidos uniformemente a lo largo de una espiral, y cuando se hacía girar el disco, cada agujero recibía una parte de la luz reflejada por el objeto cuya imagen se quería retransmitir, la luz que pasaba por cada agujero incidía en una célula fotovoltaica de selenio conectada a una corriente eléctrica, y como la conductividad eléctrica del selenio varía cuando incide sobre él luz, esto permitía convertir la energía luminosa en eléctrica, es decir, en una señal que se podía emitir a un receptor lejano vía ondas de radio. En el extremo reproductor había otro disco sincronizado con el primero, que hacía la función inversa y permitía reconstruir la imagen por filas. Nipkow no continuó explorando su idea, algo que sí hizo Boris Rosing (1869-1933), del Instituto Tecnológico de San Petersburgo, quien en 1906 combinó la idea del disco con un desarrollo fundamental: el aparato que construyó en 1897 Ferdinand Braun, el osciloscopio de rayos catódicos, la base de los posteriores receptores de televisión (en realidad, hasta los modernos televisores de plasma, la pantalla de televisión no era sino la superficie exterior de un tubo de rayos catódicos, recubierta en su cara interna por una sustancia química que producía luz por fluorescencia al recibir el impacto de un haz de electrones que barría la pantalla horizontalmente, trazando una serie de líneas que reconstituían a gran velocidad la imagen). La idea de Rosing fue dirigir, modulándolas, las señales procedentes del disco de Nipkow hacia la pantalla del tubo de rayos catódicos (corrientes, como sabemos, de electrones). Aunque en realidad las imágenes que se obtenían eran discontinuas, gracias a la persistencia de éstas en el proceso de la visión, se producía la ilusión de una imagen continua. Sin embargo, aunque la idea era

buena, Rosing no fue capaz de desarrollarla suficientemente, tarea ésta que emprendieron otros, entre los que es necesario mencionar al escocés John Logie Baird (1888-1946), que a partir de 1926 consiguió transmitir imágenes a Estados Unidos utilizando una emisora de onda corta, así como a Charles Francis Jenkins (1867-1934) y a Ernest F. Alexanderson (1878-1975), que trabajaba en la sede central de General Electric, en Schenectady. En 1927, Philo T. Farnsworth (1906-1971), un inventor independiente, se unía al grupo de pioneros de la televisión presentando un equipo bastante completo que él mismo había desarrollado, del que logró una patente.

El desarrollo de la televisión había alcanzado por entonces tal grado que en 1927, ATT, la American Telegraph and Telephone, recordemos, produjo una emisión experimental en la que aparecía el candidato a la presidencia del país, Herbert Hoover. El año siguiente, General Electric ponía a la venta el primer aparato de televisión comercial, emitiendo al mismo tiempo una primera producción. En septiembre de 1929, la BBC comenzaba a emitir programas, algo que también hizo el Servicio Postal alemán, mientras que los Laboratorios Bell (que, recordemos también, dependían del Departamento de Ingeniería de ATT) enviaban imágenes en color de Washington a Nueva York, utilizando tres canales de electrones separados para transmitir los colores primarios: rojo, verde y azul.

En 1932, Vladimir Zworyking (1888-1982), un discípulo de Rosing que tras la revolución de 1917 emigró a Estados Unidos, donde en 1929 se convirtió en director de investigación de RCA (Radio Corporation of America), supervisó desde este puesto la instalación de los estudios de televisión de la NBC situados en el Empire State Building de Nueva York (las emisiones regulares comenzaron en 1939, mostrando al presidente Franklin Delano Roosevelt inaugurando la Exposición Universal de Nueva York). En Alemania, las emisiones comenzaron (utilizando un sistema de baja definición) en 1935 desde Berlín (el año siguiente

se emitieron algunas pruebas de los Juegos Olímpicos celebrados en esta misma ciudad, con la presencia de Hitler). Por su parte, la BBC optó por un sistema de alta definición, que inauguró en 1936. Y en 1937 se daba una nueva vuelta de rosca al progreso del nuevo medio visual, con una unidad móvil de televisión que se desplazaba por las calles de Nueva York buscando imágenes en directo.

En cuanto a la difusión del medio, en 1947 había solamente 34.000 televisores en el Reino Unido, pero en 1953 la cifra era ya de más de dos millones. En España las primeras experiencias de televisión se realizaron en 1951, en un laboratorio de Radio Nacional situado en el Paseo de la Habana de Madrid, en el que se instaló un transmisor en 1955. El servicio regular de la nueva Televisión Española se inició el 28 de octubre de 1956, sirviendo inicialmente sólo a Madrid. Poco a poco se fue extendiendo: en 1964, cuando llegó a las islas Canarias, el número de televisores ya sobrepasaba el millón y medio. El año siguiente, se iniciaban las pruebas de televisión en color.

Y así hasta el día de hoy, cuando las televisiones —de muy diversos tipos, utilizando nuevos sistemas y accesorios y pudiendo recibir cada vez más señales de entre los cientos de canales existentes, que transmiten bien a través de satélites artificiales o de cable— constituyen un elemento omnipresente en prácticamente todos los hogares del mundo.

La Revolución Digital

Un prerrequisito imprescindible para que se produjera una revolución de las comunicaciones fue la irrupción de *lo digital* frente a *lo analógico*, adjetivos que aparecieron brevemente en el capítulo anterior y en los que ahora es preciso detenerse más, especialmente en el primero. De hecho, la digitalización ha constituido una gran revolución, la, como se denomina con frecuencia, Revolución Digital, cuyo núcleo ha sido la sustitución de las tecnologías analógicas por tecnologías digitales y que algunos

consideran la tercera revolución industrial, tras la Revolución Agrícola (que transformó a los humanos de nómadas-recolectores en agricultores sedentarios) y la Revolución Industrial.

Básicamente «digital» significa «discontinuo», sistemas que sólo toman valores discretos, mientras que «analógico» quiere decir «continuo», sistemas que poseen valores continuos. El teléfono, la radio y la televisión, tal y como han aparecido hasta el momento, utilizaban señales «analógicas», esto es, generadas por algún tipo de fenómeno electromagnético y que se pueden representar matemáticamente con funciones continuas. Frente a las señales analógicas están las digitales que se basan en valores discretos. La telegrafía con cables era digital pues utilizaba códigos como el Morse basados en cinco estados: «punto», «raya», «espacio corto» (entre letras), «espacio medio» (entre palabras) y «espacio largo» (entre frases). Pero la auténtica revolución digital ha sido «binaria», basada en un código con dos estados, o en base 2.

En la electrónica de tipo analógico el valor de una magnitud se representa habitualmente por la amplitud y el período de una señal en función del tiempo, mientras que en la electrónica digital las magnitudes se representan por una sucesión de pulsos. En un sistema binario la presencia de un pulso tiene el significado de la unidad, mientras que la ausencia de un pulso dentro de una secuencia determinada de ellos significa un cero. El sistema binario se utilizó inicialmente con relés electromecánicos, tubos de vacío, diodos y núcleos ferromagnéticos, pero, salvo contadas excepciones, dejaron de utilizarse una vez que se dispuso del transistor, la «célula» de la revolución digital, en la que los dos estados del sistema binario corresponden a aquellos en los que el transistor —un interruptor electrónico— está operando (*on*) o no (*off*). Cada uno de estos estados corresponde a un digito; *on* representa el 1 y *off* el 0.

Si se considera que las señales digitales son preferibles —y en general lo son porque con ellas es más fácil realizar

operaciones como codificarlas, limpiar ruidos de fondo, comprimirlas, almacenarlas o reproducirlas—, entonces es preciso convertir, *digitalizar*, las señales analógicas en digitales, tomar muestras de ellas a pequeños intervalos temporales de modo que puedan utilizarse para producir una réplica aparente mente perfecta, esto es, aparentemente continua; una pantalla digital muestra valores discretos, mientras que una analógica se basa en indicadores continuos. El mecanismo principal para lograrlo es realizar de forma periódica medidas de la amplitud de la señal analógica de partida y redondear sus valores a un conjunto finito de niveles preestablecidos de tensión, registrándolos como números enteros —un sistema de dígitos— en algún tipo de memoria o soporte y que posteriormente se codificarán, usando principalmente el código binario, transformándolos en una sucesión de ceros y unos que, a su vez, son representados por pulsos electrónicos. Digitalizamos todo tipo de información, la auditiva, la visual, la escrita y el hacerlo permite generar copias de muy alta resolución, que pueden repetirse, en principio, con fiabilidad total, tantas veces como se desee.

En una conferencia que pronunció el 20 de febrero de 1947 en la London Mathematical Society, Alan Turing se refirió a la importancia de la digitalización en los siguientes términos:[12]

> La máquina computadora automática que se está construyendo ahora en el N.P.L. [National Physical Laboratory] es una máquina computadora electrónica digital [...].
>
> Desde el punto de vista del matemático la propiedad de ser digital debería ser de más interés que el que sea electrónica. Que es electrónica es ciertamente importante porque estas máquinas deben su alta velocidad a esto, y sin la velocidad es dudoso que llegase el apoyo financiero para su construcción. Pero esto es virtualmente todo lo que se puede decir sobre ese punto. Sin embargo, que la máquina es digital posee un significado más sutil. Significa en primer lugar que los números se representan por secuencias de dígitos que pueden ser tan grandes como se desee. Por consiguiente, se puede trabajar con el grado de precisión que se quiera.

El transistor es, efectivamente el núcleo de los dispositivos que hicieron posible la Revolución de la Información, a la que también podríamos denominar Revolución Digital, digamos, lo que da lugar al *hardware*, el soporte material, pero, para poder desarrollar las múltiples funciones que ejecutan los objetos que los usan, se necesitaba algo más. Ese algo más, el en cierto sentido *software*, procedió de la matemática.

George Boole

Al igual que el transistor, las técnicas digitales fueron posibles gracias a desarrollos que tuvieron lugar dentro de la ciencia básica, en este caso la ciencia probablemente más básica de todas, la lógica matemática. Y en este punto es obligado recordar al inglés George Boole (1815-1864), que buscó nada más y nada menos que «las leyes del pensamiento», para lo cual introdujo unas estructuras matemáticas, denominadas en honor suyo «álgebras de Boole» que se fundamentan en las operaciones lógicas básicas: «y», «o», «no», «sí». Para ello, sólo necesitaba recurrir a dos números, el 0 y el 1. Cuando se estudia su obra fundamental, *An Investigation on the Laws of Thought* (*Una investigación sobre las leyes del pensamiento*; 1854) aparecen claras esas características. Así, el libro comenzaba con la siguiente declaración de intenciones:

> El propósito del siguiente tratado es investigar las leyes fundamentales de aquellas operaciones de la mente mediante las cuales se lleva a cabo el razonamiento; expresarlas en el lenguaje simbólico de un cálculo, y establecer sobre esta base la ciencia de la Lógica y construir su método.

Y más adelante, casi al final del capítulo II:

> Pensemos en un Álgebra en que los símbolos *x*, *y*, *z*, etc., admitan indiferentemente los valores 0 y 1, y sólo estos valores. Las leyes, los axiomas, los procesos de un Álgebra tal serán idénticos en todo su alcance a las leyes, los axiomas y los

procesos de un Álgebra de la Lógica.

La simple lectura de estos párrafos permite imaginar por qué las estructuras y el sistema ideado por Boole se pueden utilizar en máquinas que realicen operaciones similares a las que efectúan los humanos. Pero para conseguir semejante objetivo, se precisaba algo más. Una parte de ese «algo más», desde el punto de vista de los fundamentos la parte más importante, vino de la mano de Alan Turing.

Alan Turing y Claude Shannon

Alan Turing ya apareció en el capítulo anterior, en el que me referí a su artículo de 1936-1937: «On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem».[13] Para resolver la cuestión de si existe algún procedimiento automático capaz de decidir cualquier cuestión matemática, Turing, en lugar de utilizar instrumentos como los lenguajes formales universales basados en la aritmética, como había hecho Kurt Gödel, recurrió a unos instrumentos formales mucho más intuitivos y productivos: una máquina digital de calcular abstracta, la ya mencionada en el capítulo 11 «máquina universal», posteriormente conocida como *máquina de Turing*. Básicamente, la máquina de Turing consiste en un escáner y una cinta de memoria sin límite, dividida en cuadrados, cada uno de los cuales puede estar vacío o llevar un solo símbolo, por ejemplo, 1 o 0; en otras palabras, es la realización de la idea teórica de la digitalización de Boole. Como también apunté en el capítulo precedente, las ideas introducidas por Turing constituyeron una auténtica pieza maestra conceptual en el posterior desarrollo de las computadoras. Y es que su máquina es el *equivalente lógico* exacto de una computadora-ordenador, instrumento que, por otra parte, no existía aún en 1936. En otras palabras, la computadora-ordenador, sin la cual la segunda mitad del siglo xx habría sido muy distinta, se concibió primero bajo

una forma ideal, antes de reflejarse en un aparato real. Es cierto que la máquina de Turing no es ni siquiera, en un sentido mínimamente práctico, el boceto de una computadora, pero sí que fue su «substrato teórico-conceptual».

Pero para que la tecnología de la información digital pudiese desarrollarse realmente fueron más importantes los trabajos de un joven ingeniero y matemático que había pasado la Segunda Guerra Mundial trabajando como criptógrafo para el gobierno estadounidense, con permiso de su empleador, los Laboratorios Bell: Claude Elwood Shannon (1916-2001).[14] Aunque no se trata del principal resultado para esa tarea, es preciso mencionar en primer lugar la tesis que presentó para obtener el máster de Ciencia en el Massachusetts Institute of Technology, (*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, 1940), que estuvo dedicada a estudiar cómo podía aplicarse el álgebra de Boole en los circuitos eléctricos, una idea fundamental para que la lógica de Boole terminase instalándose en el corazón de la computación digital; en ese trabajo demostró que el álgebra de Boole constituía el instrumento perfecto para representar combinaciones de circuitos: el 0 representaba un circuito cerrado y el 1 un circuito abierto, y que aplicando las estructuras booleanas se podría optimizar el diseño de sistemas electromecánicos como los que se utilizaban en las conexiones telefónicas.[15] La obra fundamental para la tecnología digital fue un artículo de Shannon, en dos partes, que apareció en los números de julio y agosto de 1948 en una un tanto oscura revista (en la medida en que no formaba parte de los círculos académicos), *Bell Technical Journal*. El título del trabajo era «A mathematical theory of communication».[16] (Adviértase la casi coincidencia temporal entre los trabajos de Shannon y la invención, también en los Laboratorios Bell, del transistor en 1947, que mostró ser un componente particularmente bien adaptado para ser utilizado en el marco de los sistemas digitales. Podía ser, en efecto, utilizado en circuitos digitales como interruptor, o *puerta*

lógica, función para la que estaba bien capacitado ya que necesita poca energía y pasa con rapidez del estado encendido al apagado, o viceversa.)

En este artículo Shannon definió el escurridizo concepto de «información» proponiendo una forma precisa de cuantificarlo en su teoría, en la que la unidad básica de información era el *bit*.[17] Para ello, Shannon utilizó algunos de los elementos de la teoría de la probabilidad que Norbert Wiener (1894-1964) había introducido poco antes hasta el punto que no es exagerado decir que amplió las teorías de información y comunicación de Wiener. De hecho, en su artículo, Shannon reconocía las deudas que tenía con él; así en una de las notas a pie de página se lee: «La teoría de la comunicación debe mucho a Wiener por su filosofía básica y teoría. Su clásico informe NDRC, *The Interpolation, Extrapolation, and Smoothing of Stationary Time Series* (Wiley, 1949) contiene la primera clara formulación de la teoría de la comunicación como un problema estadístico, el estudio de operaciones en series temporales. Este trabajo, aunque dedicado sobre todo a la predicción lineal y al problema del filtrado, es una referencia colateral importante en conexión con el presente artículo. Podemos hacer referencia también al libro de Wiener, *Cybernetics, or Control and Comunication in the Animal and the Machine* (1948), que trata de los problemas generales de comunicación y control». Y en los «Agradecimientos» insistía en este punto: «Se debe dar crédito al Profesor N. Wiener, cuya elegante solución a los problemas de filtrado y predicción de conjuntos estacionarios ha influido considerablemente en el pensamiento de quienes trabajan en este campo».[18]

El propio Wiener se refirió a esta influencia en un artículo que publicó en 1958, y que era el inicial del primer número de una revista publicada en Bélgica y dedicada a la cibernética:[19]

> Durante el período de guerra estuve muy ocupado. Después de la guerra encontré que era necesario un cambio abrupto en mi modo de trabajar. Me di cuenta que la presión del trabajo

militar o cuasi militar no era para mí, que me imponía el riesgo moral de trabajar en un campo dedicado primariamente a la destrucción, y en el que estaría sujeto a las vicisitudes del secreto y de no poder determinar el uso que se haría de mi trabajo. Todo esto hacía imposible que continuase siguiendo esa dirección [...].

Por entonces reuní mis ideas y las de varias personas con las que había estado en contacto, en la forma de mi libro sobre Cibernética [...]. Representaba una manifestación definitiva de mi tesis de que la teoría de la comunicación y el control estaban unidas, tanto en la máquina como en el organismo vivo, y que la base de esta teoría era probabilística. Ya había visto mis ideas probabilísticas utilizadas con gran claridad por mi colega, Claude Shannon, entonces en los Laboratorios Bell.

En su artículo en dos partes del *Bell Technical Journal*, Shannon también demostró que los datos podían ser comprimidos antes de ser transmitidos y cómo podían eliminarse los errores en las comunicaciones. Veamos cómo introducía las cuestiones que abordaba:[20]

El problema fundamental de la comunicación es reproducir en un punto, bien de manera exacta o aproximada, un mensaje seleccionado en otro punto. Con frecuencia los mensajes tienen significado; esto es, se refieren a o están correlacionados de acuerdo a algún sistema provisto de ciertas entidades físicas o conceptuales. Esos aspectos semánticos de la comunicación son irrelevantes para el problema de ingeniería. El aspecto significativo es que el mensaje real se seleccione de un conjunto de mensajes posibles. Se debe diseñar el sistema para que opere en cada una de las selecciones posibles, no solamente en la que se elija puesto que ésta es desconocida en el momento del diseño.

Si el número de mensajes del conjunto es finito, entonces es posible considerar este número o cualquier función monótona de él como una medida de la información producida cuando se escoge un mensaje del conjunto, siendo todas las elecciones igualmente probables. Aunque esta definición se debe generalizar considerablemente cuando consideramos la influencia de la estadística del mensaje y cuando tenemos un rango continuo de mensajes, utilizaremos en todos los casos una medida esencialmente logarítmica.

Y un poco más adelante añadía: «La elección de una base logarítmica corresponde a la elección de una unidad para medir información. Si se utiliza la base 2, se puede llamar a las unidades resultantes dígitos binarios, o de manera más breve bits, una palabra sugerida por J. W. Tukey».[21]

En su libro, *La Información*, James Gleick se refirió a la importancia del artículo de Shannon en los siguientes términos:[22]

> «Como sabemos, 1948 fue al año en el que Bell Telephone Laboratories anunció la invención de un minúsculo semiconductor electrónico, "un aparato sorprendentemente sencillo" que podía hacer todas las funciones de una válvula de vacío, pero con más eficacia. Esa esquirla cristalina, tan pequeña que podían sostenerse más de cien de ellas en la palma de la mano. En mayo, varios científicos constituyeron un comité para darle nombre, y dicho comité entregó a los ingenieros jefe en Murray Hill, Nueva Jersey, las papeletas con sus diversas propuestas: tríodo semiconductor... iotatrón... transistor (un híbrido de varistor y transconductancia). Ganó transistor. "Puede tener una importancia prácticamente ilimitada en el mundo de la electrónica y de la comunicación eléctrica", declaró Bell Labs en una conferencia de prensa, y, por una vez, la realidad superó las previsiones del bombo publicitario. El transistor supuso una verdadera revolución en el campo de la electrónica, abriendo el camino de la tecnología hacia la miniaturización y la omnipresencia, y en poco tiempo supuso para sus tres principales inventores la concesión del Premio Nobel. Para el laboratorio constituía la joya de la corona. Pero, en realidad, solo sería la segunda novedad más importante de aquel año. El transistor no era más que un soporte.
>
> »Un invento mucho más relevante y fundamental apareció en una monografía de setenta y nueve páginas de *The Bell System Technological Journal* de julio y octubre. Nadie se preocupó de organizar una conferencia de prensa por ello. El artículo tenía un título sencillo, pero grandilocuente, "A Mathematical Theory of Communication", y su mensaje resultaba difícil de resumir. Pero constituyó un eje alrededor del cual comenzó a girar el mundo. Al igual que el transistor, esta innovación tuvo su propio neologismo: el término *bit*, elegido, en este caso, no por un comité de expertos, sino por el propio autor del trabajo, un hombre de treinta y dos años llamado Claude Shannon. A partir

de ese momento, el bit se uniría al centímetro, al kilogramo, al litro y al minuto como una cantidad determinada, como una unidad de medida fundamental en la vida cotidiana.

»Pero ¿qué medía? "Una unidad para medir información", escribía Shannon, como si hubiera tal cosa, esto es, como si hubiera una información medible y cuantificable».

La revolución de los circuitos integrados

Con ser importante, la introducción del transistor sólo fue el primer paso. El siguiente surgió como consecuencia del deseo de evitar tener que producir por separado los componentes de un circuito y tener luego que ensamblarlos. Ya me referí brevemente a este desarrollo en el capítulo 11, pero ahora es necesario ampliar lo dicho ahí y especialmente al papel que desempeñaron Jack Kilby (1923-2005) y Robert Noyce (1927-1990).[23]

En mayo de 1958, Kilby entró a trabajar en Texas Instruments, una compañía que, como apunté en el capítulo anterior, hasta entonces se había centrado sobre todo en la geofísica, pero que en 1952 decidió que el futuro estaba en los transistores y en la miniaturización de componentes electrónicos. Pronto Kilby se preguntó qué pasaría si en lugar de tomar diferentes componentes y luego unirlos para formar un circuito, éste estuviese hecho del mismo material; de hecho, de un material semiconductor, como el germanio o el silicio (el segundo elemento químico más abundante en la Tierra: se encuentra en muchas rocas y en la arena), que puede comportarse, según las condiciones a las que esté sometido, como conductor o como casi aislante, lo que significa que puede desempeñar funciones electrónicas diferentes. En agosto de 1958 Kilby mostró su invento a los directivos de Texas Instruments: construyó un circuito oscilatorio sobre un pequeño trozo de germanio, generando los componentes mediante ataque químico y uniéndolos con delgados hilos de oro, lo conectó a un osciloscopio y, tras activar un conmutador, el osciloscopio mostró una onda senoidal, lo que demostraba que había

conseguido construir un oscilador de cambio de fase con ese trocito de semiconductor, es decir, que los circuitos digitales eran factibles. El 6 de febrero de 1959 solicitó varias patentes del producto: en ellas se indicaba que era posible fabricar resistores, capacitores y amplificadores en una única pieza, añadiendo terminales a una pequeña barra semiconductora y formando uniones *pn* en determinados puntos de esa barra, en definitiva, que se tenía un *circuito integrado*, un *microchip* o, simplemente, un *chip* (*chip* es una antigua palabra inglesa, que quiere decir "un pequeño, y especialmente delgado, trozo de madera, piedra u otro material, separado al labrarlo, cortarlo o romperlo"). Cuando terminaba la década de 1950, se habían desarrollado técnicas con las que se formaban (se *crecían*) láminas de diversos materiales sobre el semiconduc tor de silicio (de unos pocos milímetros cuadrados de tamaño) formando de manera más sencilla los circuitos electrónicos completos, los microchips). Se logró de esta manera que los transisto res dejasen de ser componentes específicos que había que conectar a un circuito.

El otro gran protagonista de esta historia es Noyce —conocido a veces como el «alcalde de Silicon Valley»— que trabajaba para Fairchild Semiconductor (mencionado en el capítulo 11) empresa de la que él mismo había sido uno de sus fundadores en 1957 y en la que, ese mismo año, Jean Hoerni (1924-1997) desarrolló las técnicas fundamentales (proceso «planar») para la fabricación de un microchip parecido al de Kilby: un circuito integrado basado en una lámina de silicio con una capa protectora de dióxido de silicio sobre ella, interconectando los diversos componentes mediante la deposición de hilos de aluminio sobre ella y que era bastante más robusto que el de éste. Noyce fue quien lo construyó en 1958 (la patente se solicitó el 30 de julio de 1959, después, por consiguiente, que la de Kilby). En 1961, Fairchild Semiconductor producía comercialmente los primeros chips.

En 1968 Noyce dejó Fairchild para fundar Intel, junto a Gordon Moore (n. 1929), donde lideró con Ted Hoff (n.

1937) la invención del microprocesador, que generó la Revolución Microelectrónica. Este Moore, por cierto, es quien enunció la conocida «ley de Moore» en un artículo publicado el 19 de abril de 1965 en la revista *Electronics* y en la que predecía que cada 18-24 meses, el número de transistores de un circuito integrado se duplicaría, predicción que, básicamente, resultó cierta hasta el año 2000. Así es como la enunciaba:[24]

> La complejidad de los componentes de costo mínimo ha aumentado al ritmo de aproximadamente un factor de dos por año. Ciertamente, se espera que a corto plazo este ritmo continúe, si no es que crezca. A largo plazo el ritmo de crecimiento es un poco más incierto, aunque existen razones para pensar que no permanecerá constante durante al menos diez años. Esto significa que hacia 1975 el número de componentes por circuito integrado de coste mínimo será de 65.000.

En este mismo artículo, Moore ofrecía un buen panorama de la situación en que se encontraba lo que denominaba «electrónica integrada», esto es, la que utilizaba circuitos integrados, así como las perspectivas futuras a corto y medio plazo:[25]

> El futuro de la electrónica integrada es el futuro de la propia electrónica. Las ventajas de la integración acarrearán una proliferación de la electrónica, empujando esa ciencia en muchas áreas nuevas.
>
> Los circuitos integrados conducirán a maravillas tales como computadoras caseras —o al menos terminales conectadas con una computadora central—, controles automáticos para automóviles, y equipos personales de comunicación portables [...].
>
> Pero el potencial mayor reside en la producción de grandes sistemas. En comunicaciones telefónicas, circuitos integrados en filtros digitales separarán canales en equipos múltiples. Circuitos integrados también servirán como conmutadores en circuitos telefónicos y procesarán datos.
>
> Las computadoras serán más poderosas y se organizarán de formas completamente diferentes. Por ejemplo, las memorias construidas con electrónica integrada pueden ser distribuidas a

lo largo de una máquina en lugar de estar concentradas en una unidad central. En adición, la fiabilidad mejorada que harán posible los circuitos integrados permitirá construir unidades de procesamiento más grandes. Máquinas similares a las que existen hoy se podrán fabricar con menores costes y más rápidamente [...].

La electrónica integrada ya está establecida. Sus técnicas son casi obligatorias para los nuevos sistemas militares, ya que la fiabilidad, tamaño y peso que requieren algunos de ellos se consigue únicamente con integración [esto es, sistemas integrados]. Programas tales como Apollo, para vuelos tripulados a la Luna, han demostrado la fiabilidad de la electrónica integrada [...].

Muchas compañías en el campo comercial de las computadoras están diseñando máquinas, o las tienen en los primeros estadios de producción, que emplean electrónica integrada. Estas máquinas cuestan menos y funcionan mejor que las que utilizan electrónica «convencional» [...].

La utilización de circuitería integrada lineal está todavía restringida a lo militar. Esas funciones integradas son caras y no están a disposición en la variedad que se requiere para satisfacer una parte importante de la electrónica lineal. Pero las primeras aplicaciones están comenzando a aparecer en la electrónica comercial, en particular en equipos que necesitan amplificadores de baja frecuencia de pequeño tamaño [...].

Es probable que el silicio continúe siendo el material básico, aunque otros serán útiles para aplicaciones específicas. Por ejemplo, el arseniuro de galio será importante para funciones integradas de microondas. Pero el silicio predominará a bajas frecuencias debido a la tecnología que ya se ha desarrollado en torno a él a su óxido, y porque es un material de partida abundante y relativamente barato.

Pero en abril de 2005 el propio Moore comprendió que este crecimiento exponencial no podía continuar para siempre, que pronto se alcanzarían los límites atómicos de miniaturización. Y señalaba que la industria, dada la gran reducción en los costes de fabricación de los microprocesadores que se había logrado, ya estaba actuando más en ampliar las aplicaciones de los circuitos integrados que en aumentar su potencia. Este nuevo giro empresarial ha venido acompañado de problemas de

obsolescencia de los muy variados equipos y objetos de uso cotidiano que utilizan tecnología digital; actualmente, millones de aparatos son desechados cada año y reemplazados por otros más novedosos, generando enormes problemas de contaminación.

Nótese lo que Moore decía en uno de los párrafos de la cita anterior con respecto a la importancia que «lo militar» tuvo para el desarrollo de esta nueva electrónica, un detalle que ya se señaló en el capítulo 11. A comienzos de la década de 1960 las peticiones de los militares permitieron que empresas ya establecidas en el mundo de la electrónica como RAC o Fairchild y nuevas como Intel refinaran la tecnología, incrementando la densidad de circuitos y, sobre todo reduciendo los costes de fabricación. En 1962 los diseñadores del Minuteman II, la segunda generación de misiles balísticos intercontinentales, decidieron utilizar chips, una decisión que condujo durante los siguientes tres años a contratos con empresas del campo de la electrónica por valor de 24 millones de dólares. Pronto Texas Instruments estaba vendiendo 4.000 chips mensuales al programa Minuteman, que también utilizó los servicios de Fairchild, que consiguió contratos importantes. La Marina no se quedó atrás, incorporando circuitos integrados en los primeros misiles intercontinentales lanzados desde submarinos. A mediados de la década de 1960, los chips se habían instalado en una gran variedad de instrumentos militares. Dada la naturaleza de sus objetivos, en los que la reducción de tamaño y peso eran primordiales, la NASA no se podía quedar al margen: el 27 de noviembre de 1963 —año en el que se vendieron alrededor de medio millón de chips (el año siguiente se cuadruplicaron las ventas, un ritmo que se fue manteniendo)— lanzó desde Cabo Cañaveral el primer satélite de la serie Interplanetary Monitoring Platform (IMP), destinado a estudiar el plasma y el campo magnético interplanetario, éste fue el primer vehículo espacial que utilizó electrónica integrada. Los circuitos integrados enseguida entraron a formar parte del Programa Apolo con la «Apollo Guidance Computer».[26]

En 1964, Fairchild, que era entonces el principal suministrador de circuitos integrados al Programa Apolo, anunció la primera línea de productos de circuitos integrados dirigidos principalmente a estimular el mercado no militar y no espacial. Herbert Kleiman ha argumentado que habría sido poco probable que Fairchild hubiera tomado esta iniciativa, la de ofrecer productos comerciales, si no hubiese contado con el apoyo de la NASA, que compraba los circuitos integrados más caros que fabricaba. En otras palabras, el Programa Apolo aceleró el que los circuitos integrados se convirtieran en un producto comercial.[27] En 1968 se fabricaban cincuenta veces más circuitos integrados que cinco años antes.

Otro hecho que hay que tener en cuenta cuando se estudia la introducción de los transistores en el mundo civil es que en la electrónica tradicional, en la que se utilizaban componentes discretos, los resistores y capacitores eran baratos pero los elementos de conmutación como válvulas o tubos de vacío eran relativamente caros. La manufactura de radios y de equipos de televisión no tenía demasiados problemas: en la década de 1950 una radio, por ejemplo, utilizaba dos o tres docenas de capacitores pero solo dos o tres transistores, y la situación era parecida en los primeros aparatos de televisión. Pero los circuitos integrados cambiaron todo esto pues los resistores y capacitores utilizaban mucha energía, ocupaban mucho espacio y eran mucho más caros que los circuitos integrados. Y al reducirse los precios los circuitos integrados fueron entrando en el ámbito civil, primero con la utilización de computadoras en organizaciones oficiales, y luego en bancos o compañías de seguros. Según un informe del Congreso, en junio de 1960 en Estados Unidos el gobierno federal utilizaba en oficinas oficiales 524 computadoras para el proceso electrónico de datos, lo que representaba el 20 % de las ventas de computadoras producidas en el país hasta finales de 1959.[28] El Departamento del Censo utilizaba seis grandes máquinas de procesamiento electrónico de datos; para elaborar el censo de 1960 el

Departamento empleó un máximo de 4.000 personas, lo que representaba el 45 % de las empleadas en el censo de 1950, aunque la población había aumentado en el 20 %, y publicó los resultados mucho más rápido que nunca. Por su parte, la Agencia Federal de Aviación disponía de seis sistemas UNIVAC para el control de tráfico. La Agencia de la Tercera Edad y Seguros para Supervivientes (Bureau of Old-Age and Survivors Insurance) de la Administración de la Seguridad Social instaló computadoras IBM en 1956 para guardar los datos de las ganancias y contribuciones de las personas que cubría. Y mientras las computadoras fueron demasiado caras y grandes, pero ya necesarias para para empresas que manejaban muchos datos, IBM y RCA alquilaban sus centros de datos, provistos de máquinas transistorizadas que trabajaban con cintas magnéticas en las que se podía escribir, y de las que se podía leer, 33.000 caracteres por segundo; una hora de un IBM 7070 costaba alrededor de 300 dólares.[29]

Un desarrollo particularmente importante tuvo lugar en 1967, cuando Jerry Merryman (1932-2019), James van Tassel y Kilby, los tres trabajando para Texas Instruments, utilizaron la disponibilidad de microchips para desarrollar la primera calculadora electrónica de bolsillo, la Pocketronic, que comenzó a venderse el 14 de abril de 1971.[30] Como ha señalado Reid: «Para los estándares actuales, aquel primer modelo era un dinosaurio: era una calculadora con cuatro funciones (suma, resta, multiplicación y división) que pesaba 1.130 gramos y costaba unos 150 dólares. Pero fue una locura como se vendió».[31]

Poco a poco, pero cada vez con más rapidez, utilizando los circuitos integrados las computadoras se hicieron más potentes, más rápidas, más pequeñas y más baratas.[32] Hasta que en la década de 1970 llegaron los computadores personales (*personal computers*, PC). El paso de las macrocomputadoras a los PC comenzó cuando una empresa poco conocida de Nuevo México sacó a la venta (por 400 dólares) en 1975 el Altair, aparato informático que

desencadenó una serie de desarrollos que condujeron a que, en 1977, se pusiese a la venta el Apple II, creado por Steve Jobs (1955-2011) y Stephen Wozniak (n. 1950). Un año antes, Bill Gates (n. 1955) había fundado Microsoft, empresa que terminaría dominando una gran parte de ese mundo a través, sobre todo, de los desarrollos que creó en el ámbito del *software*, los lenguajes de programación. En la década siguiente, la de 1980, esos ordenadores personales se extendieron por los países desarrollados, siendo utilizados para todo tipo de servicios, entre ellos los de muchas empresas, que pasaron a depender de ellos. De uno de los modelos producidos, el Commodore 62, que empezó a comercializarse en 1982, se habían vendido 17 millones de unidades en 1994.

Da idea de la importancia y difusión de la computadora-ordenador el que la revista *Time* en su tradicional elección de «personaje del año» lo eligiese como el «personaje» de 1982. De hecho, y como obviamente no se trataba de un «personaje», por primera vez en la historia de esa elección tradicional de *Time* en la cubierta del 3 de enero de 1983 se podía leer: *MACHINE OF THE YEAR. The Computer Moves In* (*Máquina del año. La computadora se instala*). Y el editorial que justificaba la elección, se iniciaba con: «¿POR FAVOR, ME PODRÍA DECIR ALGUIEN», pregunta con burlesca irritación el anuncio en rojo brillante, «QUÉ PUEDE HACER UNA COMPUTADORA PERSONAL?». El anuncio no proporciona meramente una respuesta, sino cientos de ellas. «Una computadora personal, dice, puede enviar cartas a la velocidad de la luz, diagnosticar a un caniche enfermo, preparar en minutos una póliza de seguros adaptada al cliente, comprobar recetas de cerveza. Abundan los testimonios. Michael Lamb, de Tucson, diseñó la manera en que un ordenador personal podía controlar la anestesia durante una operación de cirugía; el grupo de rock Earth, Wind and Fire utiliza uno para hacer explotar bombas de humo durante sus conciertos, el reverendo Ron Jaenisch de Sunnyvale, Calif., programó su máquina de manera que pueda recitar toda la

ceremonia de una boda.»

El mundo digital pronto se convirtió en el reino de las terminales, de los CD-ROMs (*compact disc-read only memory*), módems (*modulator- demodulator*), aparatos que convierten las señales digitales de los ordenadores en analógicas para poder transmitir la información por la red telefónica, y viceversa, de las memorias que retienen los *bytes* (un número fijo de bits, actualmente 8 bits, como un octeto), *Megabytes* (1 megabyte es igual a un millón de *bytes*) y sucesivas unidades, *gigabytes, terabytes*, etc., del ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), de Telnet (acrónimo de «Telecomunication Network») e internet, de buscadores en internet —a la cabeza de ellos Google—, del correo electrónico, los servido res, las redes sociales (Facebook, Twitter, WhatsApp...), de Micro soft, IBM, Apple, de la fibra óptica como sustituto a los cables de cobre, de las finalmente superadas por internet «autopistas de la información» (red de sistemas de comunicaciones por los que circulan gran cantidad de datos), o de las realidades virtuales (aplicaciones producidas para medios electrónicos con las que proporcionar experiencias visuales, dotadas de animación, que una persona puede recorrer y explorar, construyen do un mundo propio y exclusivo, al que efectos ópticos y fisiológicos dan la apariencia de tridimensio nal; un mundo donde vivir una vida paralela). Según algunas fuentes, en 1972 había únicamente 150.000 ordenadores en el mundo; con la llegada de los ordenadores personales, en 1993 ya eran 152 millones, en 1998, 337 millones, en 2003, 616 millones. En 2010, el país con mayor número de usuarios de computadores personales era Estados Unidos, con 223 millones, le seguían: Japón (69 millones), China (53), Alemania (45), Reino Unido (36), Francia (35) y Corea del Sur (26). Y aunque no han desaparecido, los PC están siendo sustituidos por generaciones de teléfonos móviles inteligentes, o *smartphones*, que poseen conexión a internet, pantallas táctiles (carecen de teclado físico) y por dispositivos tipo tableta, a caballo entre un PC y un *smartphone*.

La importancia de los teléfonos móviles es difícil de exagerar, recordemos el *walkie-talkie* que constituyó una de las grandes novedades de la Segunda Guerra Mundial. Su éxito y atractivo fueron tales que después de la guerra varias empresas intentaron llevar al público general este tipo de telefonía inalámbrica. En 1946, por ejemplo, ATT estableció un servicio público de radiotelefonía en Saint Louis (Estados Unidos). Utilizaba un único transmisor y ofrecía seis canales de transmisión: alguien llamaba por radio al operador, que le conectaba con el número con el que deseaba hablar. Tuvo tanto éxito que pronto quedó bloqueado. Y no podía expandirse sin congestionar las radiofrecuencias. En 1947, ATT dio con la solución: en lugar de utilizar un único transmisor, había que crear una red de transmisores de baja potencia, cada uno situado en una región, o «célula» (de ahí el origen del término *celular*: teléfonos móviles o celulares). Al irse desplazando el usuario telefónico, su llamada pasaba de una célula a otra (los actuales «repetidores»), permitiendo que más personas tuviesen acceso simultáneamente al conjunto de la red. Las primeras redes de teléfonos celulares aparecieron primero en Chicago, en 1978, donde 10 células comunicaban a 2.000 usuarios, y el año siguiente en Japón, pero la tecnología que utilizaban era muy primitiva, muy cara y no existían estándares comunes, lo que complicaba enormemente su difusión. La situación cambió en 1983, cuando se puso en marcha el primer sistema comercial de telefonía celular, o móvil: comenzó con una llamada desde Chicago a un nieto de Alexander Graham Bell, uno de los inventores —el más celebrado— del teléfono, que se encontraba en Alemania. Pertenecía a lo que se puede denominar segunda generación, que utilizaba ya teléfonos digitales en lugar de analógicos. Los circuitos integrados fueron, por supuesto, una parte indispensable para lo que terminaron siendo: un procedimiento universal de comunicación social. En 1990, existían unos 12,4 millones de teléfonos móviles (el 0,25 % de la población mundial de entonces), mientras que en 2002 el número era de 1.174

millones (el 19 % de la población) y en 2010, 4.000 millones (el 67 % de la población).

La televisión también cambió adaptándose al mundo digital: las emisiones digitales vía satélite comenzaron a finales de la década de 1990. La British Sky Broadcasting Limited (BSkyB) británica, por ejemplo, lo hizo en 1998. Son varias las formas de recibir la televisión digital: la Televisión Digital Terrestre (TDT), por cable, por satélite o a través de internet. Al necesitar de antenas para recibir señales, la TDT (en España el denominado «apagón analógico» se produjo el 30 de marzo de 2010, momento en el que la televisión pasó a ser digital) recibe tantos canales como acepte la antena, y éstos son muchos menos que en los otros sistemas (los cables de fibra óptica pueden transportar millones de transmisiones de televisión entre ellas). Evidentemente, el paso de la televisión analógica a la digital significó que hubo que añadir a los antiguos aparatos analógicos de televisión, aparatos para convertir las señales a digitales. Ésta es otra de las características de las revoluciones tecnológicas, que poseen obvias consecuencias en los correspondientes mercados e industrias.

Las grabaciones de música siguieron un camino parecido: en la década de 1980, el formato digital comenzó a sustituir al analógico, y lo hizo muy rápidamente: los CD (*compact discs*) hicieron que los viejos discos de vinilo terminasen convirtiéndose en objetos para coleccionistas (las cintas de casete ni siquiera sirvieron para eso, dada su limitada durabilidad sin degradar el sonido que contienen). Y otro tanto se podría decir de las películas de cine (DVD, acrónimo de *Digital Versatile Disc*) o de la fotografía. Y por supuesto de la radio: la radio digital envía programas en forma de códigos numéricos, con la ventaja de que, a diferencia de la radio analógica, las señales no sufren los efectos de edificios u otros obstáculos, ofreciendo un sonido mejor.

EL GPS, UNA RED DE SATÉLITES GLOBALES

He mencionado los satélites IMP del programa Minuteman, que circulaban en órbitas terrestres e interplanetarias y ello me da pie a tratar de otro tipo de satélites, mucho más importantes y cuya presencia ha terminado siendo fundamental para la sociedad del siglo XXI: los satélites de comunicaciones y los que configuran la red Global Positioning System («Sistema de Posicionamiento Global», GPS).

Para las comunicaciones, los satélites poseen una gran ventaja: si se instalan en él los aparatos receptores adecuados, pueden servir como magníficas antenas entre dos puntos alejados entre sí. Ahora bien, lo ideal es que un satélite de telecomunicaciones no cambie de posición con respecto a la superficie de la Tierra, ya que si se desplaza es necesario reorientar constantemente las antenas situadas en tierra que se dirigen a ese satélite. Para evitar que se produzca semejante desplazamiento, el período de rotación orbital del satélite debe coincidir con el de la Tierra sobre su eje; esto es, que los satélites sean *geoestacionarios*, que parezca que están inmóviles en el cielo, algo que tiene lugar a una altura de unos 35.880 kilómetros de altura. Es el denominado «Cinturón de Clarke», llamado así en honor al escritor de ciencia-ficción Arthur C. Clarke (1917-2008), recordado sobre todo por su novela *2001: A Space Odyssey* (*2001: una odisea espacial*, 1968), llevada al cine bajo la dirección de Stanley Kubrick. Clarke, que sirvió en la Royal Air Force como técnico e instructor en radar entre 1941 y 1946, sugirió la idea en un breve artículo que publicó en la revista *Wireless World* en una fecha tan temprana como 1945. Los pasajes pertinentes de su nota son los siguientes:[33]

> Un cohete que pueda alcanzar la velocidad de 8 km/s paralela a la superficie de la Tierra, continuaría orbitándola para siempre en una órbita cerrada; se convertiría en un «satélite artificial». Los V2 solo pueden alcanzar un tercio de esta velocidad bajo las condiciones más favorables, pero si su

carga útil fuese la de un pequeño cohete de una tonelada, este componente superior podría alcanzar la velocidad requerida con una carga útil de unas 100 libras. Así, sería posible tener instrumentos de cien libras de peso orbitando perpetuamente la Tierra fuera de los límites de la atmósfera y emitiendo información mientras durasen las baterías. Como el cohete dispondría durante medio día de la brillante luz solar, el período de operación podría prolongarse indefinidamente mediante la utilización de termopares y elementos fotoeléctricos.

Ambos desarrollos no necesitan nada nuevo en recursos técnicos: el primero y probablemente el segundo llegarán en los siguientes cinco o diez años. Sin embargo, me gustaría terminar mencionando una posibilidad para un futuro más remoto, acaso para dentro de cincuenta años.

Un «satélite artificial» a la distancia correcta de la Tierra podría realizar una revolución cada 24 horas; esto es, permanecería estacionario sobre el mismo punto y estaría en el rango óptico de casi la mitad de la superficie terrestre. Tres estaciones repetidoras, separadas entre sí 120 grados en la órbita correcta, podrían dar cobertura de televisión y microondas a todo el planeta. Me temo que esto no va a tener ningún uso para nuestros planificadores de la posguerra, pero creo que es la *última* solución del problema.

Sin embargo, parece que la idea de Clarke no atrajo atención hasta 1954. Aquel año, John R. Pierce, que trabajaba en los Laboratorios Bell, asociados, recordemos a ATT, pronunció una conferencia (publicada el año siguiente) en la que señaló que los satélites de telecomunicaciones constituirían un magnífico negocio, incluso aunque no fuesen operativos las 24 horas del día (lo que sucedería si estuvieran situados en una órbita inferior a la del Cinturón de Clarke): estimaba que la capacidad de un satélite para transmitir llamadas telefónicas simultáneas era de unas 1.000, frente a las 36 del primer cable telefónico transatlántico. Tres años después de la conferencia de Pierce, los rusos lanzaban el «Sputnik», pero aun así hubo que esperar un lustro, esto es a 1962, para que los satélites se utilizasen para comunicaciones: el primero, lanzado desde Cabo Cañaveral el 10 de julio de 1962, fue el «Telstar

1», aún no geoestacionario (su órbita era baja), perteneciente a ATT y construido por un equipo de los Laboratorios Bell, pero que formaba parte de un acuerdo multinacional entre ATT, los Laboratorios Bell, la NASA, el General Post Office británico y France Telecom para desarrollar comunicaciones transatlánticas por satélite. Dos años después, ya surcaban los cielos dos grupos de satélites «Telstar», dos «Relay» (fabricados por RCA, la Radio Corporation of America) y dos «Symcom» (Hughes Aircraft Company).

Pero los problemas no se limitaban a poner los satélites en el Cinturón de Clarke; estaban también los de las frecuencias de las señales electromagnéticas que los satélites utilizan en sus transmisiones. Satélites que funcionen en la misma banda de frecuencia no deben estar cerca para que no se produzcan interferencias en sus emisiones/recepciones, lo que obliga a distribuir con cuidado la ubicación de los satélites, cuyo número posible es, por otra parte, limitado. Sólo mediante tratados internacionales difíciles de conseguir se lograron los acuerdos necesarios para distribuir los varios cientos de satélites que pueblan ahora el Cinturón de Clarke.

Además de para las telecomunicaciones, los satélites pronto cumplieron otras funciones. Una de ellas es para obtener información meteorológica. Nada mejor que un satélite como puesto de observación, recepción y transmisión para conocer el estado del tiempo meteorológico en cualquier punto del planeta. El primer satélite de este tipo, el «Vanguard 2», se lanzó el 17 de febrero de 1959 y tenía como fin sobre todo medir la distribución de la cobertura de las nubes, aunque no tuvo demasiado éxito. Diferente fue el caso de «TIROS-1», lanzado por la NASA el 1 de abril de 1960, que se mantuvo operativo durante 78 días allanando el camino para otros programas de satélites meteorológicos. Particularmente famosos son los «Meteosat», una serie de satélites geoestacionarios, situados por encima del Atlántico, construidos y lanzados por la Agencia Espacial Europea

(ESA), que controla la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT). El primero se lanzó el 25 de noviembre de 1977 y el último de esa primera generación el 3 de septiembre de 1997; luego llegaron los de una segunda generación (2002-2015) y finalmente los de una tercera, que comenzaron a plantearse en 2008.

Otro empleo de los satélites tiene que ver con un servicio cada vez más extendido, que se encuentra, por ejemplo, en muchos de nuestros coches y teléfonos móviles: el GPS. Constituido actualmente por una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de apoyo) que orbitan en torno a la Tierra, el GPS, un elaborado sistema de emisión y recepción de señales y de triangulación, desarrollado e instalado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos para que lo utilizase inicialmente la Marina, permite determinar la posición de cualquier objeto situado sobre la superficie terrestre, siempre que esté dotado de los medios técnicos necesarios de recepción y emisión de señales. Comenzaron a ser instalados en 1978. Entonces eran muy básicos, pero aun así proporcionaban correctamente latitudes y longitudes, con una flechita que apuntaba en la dirección en que se movía el emisor, algo que tenía obvias ventajas para las necesidades de los militares: No obstante, los primeros equipos todavía tenían limitaciones: instalados en tanques, helicópteros y otros vehículos los receptores estaban sujetos con cintas adhesivas, que se despegaban a menudo con los movimientos de la unidad que los transportaba. Pero eran tan útiles que la demanda creció de tal forma que superaba a las posibilidades de producción; a menudo uno o dos receptores eran compartidos por hasta cien vehículos. No obstante, como suele suceder con las «nuevas tecnologías» —que pronto terminan de ser nuevas aunque conserven durante algún tiempo el adjetivo—, estos problemas terminaron solucionándose y a partir de 1995 fue accesible a usos civiles.

Es importante mencionar que para que este sistema funcione correctamente, con la precisión necesaria para que

no se produzcan desviaciones que deformen la ubicación de su objetivo, es indispensable que los relojes situados en los satélites y en la superficie de la Tierra estén perfectamente sincronizados. Y en este punto aparecen dos teorías que elaboró Albert Einstein: la teoría especial de la relatividad (1905) y la teoría general de la relatividad (1915). Recordemos que en la primera las medidas de intervalos de tiempo y de espacio dependen del estado de movimiento de quienes hacen las medidas, mientras que de la teoría general, que se ocupa de la fuerza gravitacional, se deduce que las medidas temporales se ven afectadas por la magnitud del campo gravitacional. Obviamente, estos efectos toman protagonismo cuando intervienen satélites que llevan consigo relojes atómicos y que se mueven con respecto a la Tierra a gran velocidad y en lugares donde la fuerza gravitacional no es la misma que en la superficie terrestre. Por consiguiente, según la relatividad einsteiniana el tiempo transcurre de manera diferente en el reloj del satélite que en uno en la Tierra. Es preciso, por tanto, realizar las correcciones oportunas para la sincronización. Si no hiciésemos todo esto, si no recurriésemos a las dos teorías relativistas, nuestros GPS dejarían de ser útiles pasados unos dos minutos, puesto que nos darían posiciones con errores de aproximadamente 10 kilómetros.

Inteligencia Artificial

Entre las características que caracterizarán al siglo XXI, características que ya se manifiestan poderosamente en sus dos primeras décadas, se encuentran los efectos que se producirán debido al cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la utilización de las técnicas médicas basadas en el conocimiento del ADN, y el desarrollo y proliferación de la inteligencia artificial, en colaboración con la robotización. De las tres primeras me ocuparé en los siguientes capítulos, pero ahora, para finalizar éste, trataré algunos aspectos de la inteligencia artificial y sus orígenes. En este punto es preciso distinguir dos enfoques, o caminos,

uno centrado en las analogías con el cerebro humano y otro estrechamente ligado al desarrollo de las computadoras, y en cuyo desarrollo han intervenido e intervienen, al menos, la matemática, la física, la filosofía e incluso la biología evolutiva en la medida en que la emergencia de la inteligencia se debe entender en el contexto de la evolución de los seres vivos. Por supuesto, un problema es definir qué es la «inteligencia». Una buena muestra de esa dificultad se encuentra en las ocho conferencias que se pronunciaron en 1992 en el Darwin College de Cambridge. Reunidas y publicadas bajo el título de *What is Intelligence?*, en ellas se observaba con claridad que el término «inteligencia» se puede entender de formas diferentes en distintas disciplinas. Aun así, en una de las conferencias, la que corrió a cargo de Richard Gregory (1923-2010), entonces catedrático (*professor*) emérito de Neuropsicología en la Universidad de Bristol, donde fue director del Laboratorio del Cerebro y de la Percepción, aparecen unas reflexiones que merece la pena recuperar:[34]

> ¿Qué es la inteligencia? La inteligencia es difícil de definir y en general sus descripciones están plagadas de paradojas. Así, la inteligencia se atribuye a quienes tienen que pensar porque no saben mucho, y a quienes saben mucho y que por tanto no tienen que pensar.
>
> PARADOJA DE LA INTELIGENCIA
>
> Se dice de las personas que son más inteligentes cuando tienen que encontrar una respuesta que cuando ya la saben (lo que es una especie de trampa), pero también decimos que los eruditos [*scholars*] que saben mucho son más inteligentes que la gente ignorante. Esta paradoja se puede resolver señalando que para llegar a ser un erudito se necesita inteligencia, ya que aprender es difícil. Pero no nos referimos al propio conocimiento como un tipo de inteligencia. Cuando Macbeth pregunta «¡Di a qué debes esta extraña inteligencia!» [*Say from whence you owe this strange intellienge!*], está preguntando la fuente del conocimiento o de la información. Esto tiene el mismo significado que «inteligencia militar», que no implica que los militares sean especialmente brillantes. Por otra parte, si decimos que Einstein era inteligente nos referimos a lo que él inventó o descubrió, y no a lo que aprendió en la escuela o

> posteriormente. Es porque lo que dijo no se sabía todavía, que consideramos a Einstein —y a Newton, Faraday, Darwin y otros grandes innovadores— excepcionalmente inteligente. Ésta no es la «inteligencia» del conocimiento existente. Es la «inteligencia» de descubrir o crear nuevo conocimiento.

Seguramente muchos aceptarán la idea que Gregory tenía de «inteligencia», pero ¿cómo definir «inteligencia» en términos más concretos? Y sobre todo, ¿cómo intentar implementar «inteligencia» en una máquina, hacer que «sea inteligente»?

Autómatas y cerebro

Los pioneros, casi se podría decir «padres fundadores» en el intento de diseñar y construir, teniendo muy en cuenta la estructura del cerebro, máquinas que fueran «inteligentes» fueron dos científicos que ya han aparecido, Norbert Wiener y John von Neumann. Se trataba y trata de un enfoque razonable ya que aunque todavía se sabe poco sobre el cerebro, no es irrazonable considerarlo como un sistema computacional.

El interés de Wiener en las computadoras le condujo al estudio del cerebro, el sistema nervioso y otros varios apartados de la fisiología.[35] Hablando en tercera persona, el propio Wiener mencionó algunas de las raíces de estos intereses, y en particular, como se plasmaron en una breve nota, en su conocido libro *Cybernetics, or Control and Comunication in the Animal and the Machine* (1948), en la que se advierte la ambición de su programa de investigación:[36]

> La cibernética incluye la teoría de la información y su medida; el concepto de comunicación como un problema estadístico en el que los mensajes no enviados desempeñan el mismo papel que los enviados; la teoría de la predicción estadística de secuencias de sucesos distribuidos en el tiempo; la teoría de la relación entre mensaje y ruido y su separación por filtros de ondas; la teoría de aparatos para el control, y su

diseño y aplicación a servomecanismos; computadoras electrónicas y la factoría automática. También incluye la teoría de aparatos que retienen información en una especie de «memoria» y que adaptan su funcionamiento para mejorar su propia eficiencia mediante una especie de proceso de «aprendizaje», y la aplicación de esta idea a los animales inferiores y al hombre y a su sociedad, para incluir la teoría de la psicología de la Gestalt. Se puede extender al estudio de aparatos físicos que puedan reconocer la Gestalt. Estrechamente relacionado a esto está el estudio de redes de comunicación con características variables y las formas en qué tales redes llegan a alcanzar un equilibrio o cuasi-equilibrio de funcionamiento.

Este conglomerado de ciencias se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial a partir de la necesidad de poner a trabajar a talentos matemáticos y de otras ciencias en problemas prácticos de diseños militares, que hasta entonces no habían sido considerados de naturaleza puramente científica. Esta necesidad estaba estrechamente relacionada con la de organizar procesos tales como el seguimiento de aeroplanos, que por su misma rapidez y complejidad eludían los tipos existentes de intervención humana, mediante el uso de dispositivos automáticos, mecánicos o electrónicos auxiliares. De esta manera, apareció, y fue tratado por Wiener en su ya citado libro *Cybernetics, or Control and Comunication in the Animal and the Machine* (1948), un campo de investigación que cubría no solo tales mecanismos, sino también su arquetipo, el cerebro y el sistema nervioso.

John von Neumann estaba al tanto de los trabajos de Wiener; de hecho, en 1949 publicó una reseña de *Cybernetics, or Control and Comunication in the Animal and the Machine* en *Physics Today*, la revista de la American Physical Society.[37] Una muestra temprana de que era así es una larga carta que envió a Wiener el 29 de noviembre de 1946, que anticipaba una reunión que debían tener los dos el 4 de diciembre en Cambridge, pero de la que, si se celebró, no ha sobrevivido ningún detalle.[38] Demasiado extensa para citarla o comentarla en su totalidad, me limitaré a recuperar algunos pasajes de la carta. En uno de éstos, casi al principio, Von Neumann señalaba:

Nuestros pensamientos —quiero decir los suyos y de Pitts, y

> los míos— estaban centrados principalmente en el campo de la neurología, y de manera más específica en el sistema nervioso humano, y principalmente en el sistema nervioso central. Así, al tratar de comprender la función de los autómatas y los principios generales que los gobiernan, seleccionamos para una primera acción el objeto más complicado que existe bajo el sol, literalmente. A pesar de su formidable complejidad, este asunto ha proporcionado información muy interesante bajo la presión de los esfuerzos de Pitts y McCulloch, Wiener y Rosenblueth. Lo que pensamos —o al menos lo que pienso yo— acerca de todo el tema de los autómatas sería mucho más confuso de lo que es si estos extremadamente atrevidos esfuerzos —con los que desearía poner a la par la muy a-neurológica tesis de A. Turing — no se hubieran efectuado. Sin embargo, pienso que estos éxitos no deberían cegarnos sobre las dificultades del tema, dificultades que, creo, se mantienen igual de prohibitivas, si no más, que siempre.

Von Neumann se refería aquí a un grupo de investigadores que se habían ocupado de estas cuestiones: Walter Pitts (1923-1969), discípulo en Chicago del filósofo Rudold Carnap y del biofísico Nicolas Rashevsky; Warren McCulloch (1898-1969), profesor de Psiquiatría en la Escuela de Medicina de Universidad de Illinois; y el fisiólogo mexicano Arturo Rosenblueth (1900-1970), que colaboró estrechamente con Wiener.[39] En 1943, McCulloch y Pitts habían publicado un importante artículo, «A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity» (Un cálculo lógico de ideas inmanentes en la actividad cerebral), en el que formalizaban la estructura intrínseca de los procesos neuronales, un trabajo que influyó mucho en Wiener y que, como vimos, Von Neumann también tuvo en gran consideración.[40]

Una de las recomendaciones que hacía Von Neumann a Wiener, en su carta de noviembre, era centrarse en los sistemas biológicos más simples:

> Pienso que tenemos que dedicarnos a sistemas más simples. Es una falacia argumentar que como la neurona es una célula (de hecho, parte de su empaquetado individual aislante es multicelular), solamente debemos considerar organismos

> multicelulares. La célula es claramente un excelente «componente estándar», muy flexible y adecuado para diferenciarse en forma y función, y los organismos superiores la utilizan libremente. Pero su auto-reproductibilidad indica que posee en sí misma algunos de los atributos decisivos de los organismos integrados y algunas células (por ejemplo, los leucocitos) son autocontenidos, seres completos.

También llamaba la atención sobre unas «unidades» orgánicas a las que por entonces todavía no habían prestado demasiada atención los investigadores, pero que pronto lo harían: los bacteriófagos (o fagos): «Los organismos, que no llegan a ser células, de los virus o del tipo bacteriófago poseen los rasgos decisivos de cualquier organismo vivo. Se reproducen a sí mismos y son capaces de orientarse en un medio desorganizado, para moverse hacia la comida, apropiarse de ella y utilizarla. En consecuencia, una "verdadera" comprensión de estos organismos puede ser el primer avance relevante y posiblemente el mayor paso que pueda necesitarse».[41]

En cuanto a sus propios trabajos, Von Neumann dedicó especial atención a los «autómatas», término en el que agrupaba a las computadoras y al sistema nervioso humano. Se trataba de un campo que representaba la culminación y reunión de sus grandes intereses anteriores: lógica, axiomática y computadoras electrónicas. Para apreciar algo de su enfoque, citaré unos pasajes del ensayo que preparó a raíz de su intervención en un simposio, el Hixon, el 20 de septiembre de 1948, titulado «The general and logical theory of autómata» (La teoría general y lógica de los autómatas):[42]

> Al comparar los organismos vivos y, en particular, el organismo más complicado, el sistema nervioso central humano, con los autómatas artificiales, deberían tenerse en mente las siguientes limitaciones. Los sistemas naturales son enormemente complejos, y claramente es necesario subdividir el problema que representan en varias partes. Un método de subdivisión, que es particularmente significativo en el contexto presente, es éste: los organismos se pueden considerar como

> constituidos de partes, unidades elementales, que son independientes en cierta medida. En este sentido, podemos, por consiguiente, considerar que la primera parte del problema es la estructura y funcionamiento individual de tales unidades elementales. La segunda parte del problema consiste en entender cómo están organizados estos elementos como un todo, y cómo el funcionamiento del todo se expresa en términos de estos elementos.
>
> La primera parte del problema está dominada actualmente por la fisiología. Está estrechamente relacionada con los capítulos más difíciles de la química orgánica y de la química-física, y en el futuro puede verse ayudada mucho por la mecánica cuántica. Tengo pocas cualificaciones para hablar sobre ella, y no es en ésta en la que me concentraré aquí.
>
> Por el contrario, la segunda parte es la que probablemente atraiga a aquellos de nosotros con la formación y gustos de un matemático o un lógico. Con esta actitud, nos inclinaremos a prescindir de la primera parte del problema mediante el proceso de axiomatización, y concentrarnos en la segunda parte.

Para desarrollar su programa, se concentraba en analizar cuestiones del tipo de analogías entre organismos vivos y computadoras, en principio analógicas o digitales, aunque daba preferencia a las segundas, en las que la utilización del sistema binario permitía establecer mejores similitudes con la relación sináptica entre neuronas, para lo que se ayudaba por el modelo formal de redes neuronales de McCulloch-Pitts.[43]

Dentro de su ambicioso programa, había dos cuestiones a las que dedicó particular atención: los sistemas autómatas autorreplicantes y los errores en la transmisión de información. Abordó el primero brevemente en el simposio Hixon y después preparó un manuscrito, que no llegó a completar y que se publicó póstumamente como libro: *Theory of Self-Reproducing Automata* (1966), editado y completado por A. W. Burks. La idea —que trataba de imitar lo que sucede con «sistemas» naturales (por ejemplo, un virus)— era la de que sería posible diseñar máquinas programables (esto es, que obedeciesen códigos de instrucciones insertados en sus memorias) que fuesen

capaces de componer, con materiales disponibles en el medio en que se moviesen, otras como ellas, o, lo que es lo mismo, que fuesen capaces de (auto)-reproducirse. Como decía en su ensayo Hixon:[44] «Se supone que el autómata constructor está situado en un *reservoir* en el que están flotando en gran número todos los componentes elementales y que realizará la construcción en tal medio». Uno de los atractivos de esta idea es, como ha señalado, entre otros, Freeman Dyson, que se podrían utilizar máquinas autorreplicantes para la exploración espacial (suponen, claro está, que encontrarían en el espacio los materiales necesarios para reproducirse).

Para entender de qué trataba la segunda cuestión a la que me refería, la de errores en la transmisión de información, citaré unos párrafos de *The Computer and the Brain*:[45]

> Desde luego, es claro que si en un sistema digital de notaciones falta un simple impulso, puede resultar una deformación absoluta de su significado. Por otra parte, es igualmente claro que si en un esquema del tipo descrito se pierde un simple impulso, o incluso varios, o éstos están incluidos de una forma innecesaria o equivocada, la frecuencia relevante, es decir, el significado del mensaje, no se distorsiona de forma esencial.
>
> Aparece ahora una cuestión que es crucial contestar: ¿cuáles son las inferencias esenciales, acerca de la estructura aritmética y lógica de la máquina de calcular representadas por el sistema nervioso que pueden extraerse de estas observaciones en apariencia incongruentes?
>
> Para cualquiera que haya estudiado el deterioro de la precisión a lo largo de un extenso proceso de cálculo, la respuesta es clara. El deterioro es debido a la acumulación de errores por superposición, e incluso a la amplificación de los errores cometidos previamente en el cálculo, esto es, debido al considerable número de operaciones aritméticas que tienen que ser realizadas en serie, o, en otras palabras, a la gran «profundidad aritmética» del esquema.

Von Neumann desarrolló estas ideas en un artículo que se publicó en 1956, poco antes de su muerte, como parte de

un volumen editado por Claude Shannon y John McCarthy.[46]

La dedicación de Von Neumann al tema de las computadoras y el cerebro aparecen también en el librito que recoge las conferencias Silliman que debería haber desarrollado en la Universidad de Yale, pero que no pudo llegar a pronunciar aunque sí dejó preparado el manuscrito, publicado después de su fallecimiento con el título de *The Computer and the Brain*. En él intentaba utilizar el conocimiento del sistema nervioso humano para elaborar una teoría cibernética general que produjese una tecnología de computadoras cada vez más potente. En los primeros párrafos explicaba lo que pretendía:[47]

> Puesto que no soy ni neurólogo ni psiquiatra sino matemático, el siguiente trabajo requiere ser explicado y justificado. Es una aproximación al entendimiento del sistema nervioso desde el punto de vista del matemático. Sin embargo, esta frase, apenas enunciada, debe ser matizada en dos puntos esenciales.
>
> En primer lugar, describir lo que voy a intentar hacer aquí como una «aproximación al entendimiento» es sobrevalorar mi trabajo; lo único que hago es recoger un conjunto algo sistemático de especulaciones sobre cómo debería hacerse tal aproximación. Es decir, mi idea es intuir, entre las líneas de acción a las que guía la matemática, cuáles parecen *a priori* prometedoras, desde la distancia confusa en que las vemos casi todas, y cuáles no. Ofreceré también justificaciones de estas hipótesis.
>
> En segundo lugar, la expresión «el punto de vista del matemático», tal como quisiera que se entendiese en este contexto, enfatiza aspectos poco habituales: en vez de insistir sobre las técnicas matemáticas más generales, se quieren resaltar los aspectos lógicos y estadísticos de la matemática. Además, la lógica y la estadística deben ser consideradas principal, aunque no exclusivamente, como los instrumentos básicos de la «teoría de la información». Asimismo, el cuerpo de conocimientos experimentales que se ha desarrollado alrededor de la planificación, evaluación y codificación de complicados autómatas lógicos y matemáticos, será el foco de gran parte de esta teoría de la información. Los más típicos de esos autómatas, pero no los únicos, siguen siendo sin duda los

grandes calculadores electrónicos.

De los muchos puntos interesantes de esta obra, me limitaré a señalar dos. El primero trata de qué tipo de autómata es el sistema nervioso:[48]

> Estas observaciones muestran que el sistema nervioso, cuando se le considera como un autómata, debe tener tanto una parte aritmética como una parte lógica, y que las necesidades de aritmética son tan importantes como las de lógica. Esto significa que estamos de nuevo tratando con una máquina de calcular en el sentido estricto y que resulta apropiado un análisis en términos de los conceptos familiares en la teoría de las máquinas de calcular.
>
> A la vista de esto, se plantea inmediatamente la siguiente cuestión: cuándo se considera el sistema nervioso como una máquina de calcular y con qué precisión debe esperarse que funcione la parte aritmética.

El segundo punto, con el que de hecho terminaba el libro, se dedicaba al lenguaje:[49]

> Avanzar más en este tema nos lleva necesariamente a cuestiones de lenguaje. Como hemos indicado, el sistema nervioso se basa en dos tipos de comunicaciones: aquellas que no implican formulaciones aritméticas, y aquellas que sí lo hacen, es decir, comunicaciones de órdenes (de tipo lógico) y comunicaciones de números (de tipo aritmético). El primero puede ser descrito propiamente como un lenguaje, el segundo entra plenamente en el campo de las matemáticas.
>
> Resulta obligado darse cuenta de que el lenguaje es, en gran medida, un accidente histórico. Los lenguajes humanos básicos nos son transmitidos tradicionalmente de varias maneras, pero su gran variedad prueba que no hay en ellos nada de absoluto y de necesario. Idiomas como el griego y el sánscrito son realidades históricas y no necesidades lógicas. Por ello, es razonable suponer que la lógica y las matemáticas son, tanto una como otra, formas históricas accidentales de expresión. Pueden tener variantes esenciales, es decir, pueden existir en formas distintas de aquellas a las que estamos acostumbrados. Dese luego, la naturaleza del sistema nervioso central y del sistema de mensajes que éste transmite indica positivamente que así es. Hemos acumulado ya evidencia suficiente para

> darnos cuenta de que cualquiera que sea el lenguaje que el sistema nervioso central utilice, éste se caracteriza por una profundidad lógica y aritmética menor que la que nos es habitual [...]. Así, la lógica y las matemáticas en el sistema nervioso central, cuando se las considera como lenguajes, deben ser estructuralmente distintas de aquellos lenguajes a los que se refiere nuestra experiencia corriente.

También Alan Turing adoptó un enfoque parecido, aunque no fuese ésta su contribución más importante, como se verá en la siguiente sección. Encontramos una primera manifestación en este sentido en un informe que preparó en 1948, mientras trabajaba en el National Physical Laboratory británico. Se titulaba *Intelligent Machinery* (*Maquinaría inteligente*) y su propósito era «investigar la cuestión de si es posible que la maquinaría muestre un comportamiento inteligente».[50] En él se centró en tratar la posibilidad de construir «máquinas pensantes» que imitasen cualquier parte de los humanos, en «redes de neuronas artificiales», campo denominado en ocasiones «conexionismo» (*connectionism*) y, con más frecuencia, «redes neuronales». Introdujo un tipo de red neuronal que llamó «máquina no organizada de tipo B», que estaba formada por neuronas artificiales, enfoque que desarrolló algo en 1952 en un artículo titulado «The chemical basis of Morphogenesis» («La base química de la morfogénesis»).[51] Se trataba, por consiguiente, de un trabajo relacionado con el enfoque «neurológico».

En sus estudios morfogéneticos —la «Morfogénesis» es la ciencia que estudia los procesos biológicos que hacen que un organismo desarrolle la forma que finalmente adquiere — Turing diseñó simulaciones de computadoras que investigaban la organización y forma de seres vivos, un trabajo en el que se benefició de la instalación de la primera computadora digital electrónica en el Laboratorio de Máquinas Calculadoras (Computing Machine Laboratory) de la Universidad de Manchester, donde Turing estaba trabajando. En una carta que escribió en febrero de 1951 informaba de esto a Michael Woodger, que había

trabajado con él, como su ayudante, en 1946 en el National Physical Laboratory:52 «Nuestra nueva máquina empezará a llegar el lunes. Estoy deseando que uno de sus primeros trabajos sea hacer algo sobre "embriología química". En particular, pienso que se puede explicar la aparición de los números de Fibonacci en relación con los conos de los abetos». Entre los resultados que obtuvo, uno era particularmente importante: la demostración de que ciertos tipos de sistemas dinámicos, que inicialmente son homogéneos, experimentan un cambio progresivo que conduce a la aparición de heterogeneidades espaciales. Y ¿qué es la vida sino sistemas organizados que presentan heterogeneidades?

Inteligencia Artificial y computadoras

Pero no fueron las anteriores ideas las que hicieron de Turing un nombre obligado a la hora de hablar de máquinas inteligentes, sino un artículo, «Computing machinery and intelligence», que publicó en 1950 en la revista de filosofía *Mind*.53 En él propuso una definición operacional de «inteligencia», expresada a través de su famoso «Test de Turing». Veamos cómo lo presentaba en su artículo:54

> Propongo considerar la cuestión «¿Pueden pensar las máquinas?». Esto debería comenzar con definiciones del significado de los términos «máquina» y «pensar». Las definiciones deberían ser construidas para reflejar tanto como sea posible el uso normal de las palabras, pero esta actitud es peligrosa. Si el significado de las palabras «máquina» y «pensar» fuesen el que se encuentra examinando cómo se emplean normalmente, es difícil escapar a la conclusión de que el significado y la respuesta a la pregunta «¿Pueden pensar las máquinas?» se encontraría en encuestas como las de Gallup. Pero esto es absurdo. En lugar de intentar semejante definición reemplazaré la cuestión por otra, que está estrechamente relacionada con ella y se expresa con palabras relativamente precisas.
>
> La nueva forma del problema puede describirse en términos

> de un juego que llamaremos el «juego de imitación».[55] Lo juegan tres personas, un hombre (A), una mujer (B) y un interrogador (C), que puede ser de cualquier sexo. El interrogador se encuentra en una habitación separado de los otros dos. El objeto del juego para el interrogador es determinar quién de los otros dos es el hombre y quién la mujer.

Y para evitar que los tonos de voz pudieran ayudar al interrogador, Turing añadía que las respuestas deberían estar escritas o mecanografiadas.

Hasta aquí, un juego más o menos divertido, pero lo interesante venía después:

> Ahora hacemos la pregunta «¿Qué pasará cuando una máquina toma el lugar de A en este juego?». ¿Se equivocará el interrogador tan a menudo cuando el juego se desarrolla así como cuando participan un hombre y una mujer? Estas preguntas reemplazan a la que hacíamos al principio: «¿Puede pensar una máquina?».

El Test de Turing se resume en esta cuestión: si una máquina logra engañar a las personas, haciendo que crean por sus respuestas que se trata de un humano.

Evidentemente, hay muchas clases de «máquinas», pero Turing especificaba que una vez disponibles las «computadoras electrónicas», solo permitía «que tomasen parte en nuestro juego computadoras digitales», ya que estas estaban diseñadas «para realizar cualquier operación que pueda hacer un computador humano». Un punto interesante de los que abordaba Turing en su artículo es el de las previsiones que hacía:[56]

> El problema [de disponer de una máquina inteligente] es principalmente uno de programación. También se tendrán que realizar avances en ingeniería, pero parece poco probable que éstos no sean adecuados para lo que se necesita. Estimaciones de la capacidad de almacenamiento del cerebro varían entre 10^{10} y 10^{15} dígitos binarios. Yo me inclino por los valores más pequeños y creo que para los tipos superiores de pensamiento solamente se utiliza una fracción muy pequeña. La mayor parte de ella probablemente se emplea para retener imágenes

> visuales. Me sorprendería si se necesitaran más de 10⁹ para satisfacer el juego de imitación, al menos frente a una persona ciega. (Nota – La capacidad de la *Encyclopaedia Britannica*, 11.ª edición, es de 2·10⁹.) Una capacidad de almacenamiento de 10⁷ sería una posibilidad muy practicable incluso con las técnicas actuales. Probablemente no sea necesario en absoluto aumentar la velocidad de las máquinas. Parte de las máquinas modernas que se pueden considerar como análogas a las células nerviosas funcionan alrededor de mil veces más rápidas que éstas. Esto debería proporcionar un «margen de seguridad» que podría cubrir pérdidas de velocidad que surjan de diversas maneras. Nuestro problema es, por consiguiente, encontrar cómo programar estas máquinas que realizan el juego.

Pensaba que para lograr todo esto «habría que esperar al final del siglo».57

Como era de suponer en un asunto tan sutil, surgieron críticas al Test de Turing; el propio Turing mencionaba en su artículo algunas posibles, entre ellas: «La objeción teológica» («Pensar es una función del alma inmortal del hombre. Dios ha dado un alma inmortal a todo hombre y mujer, pero no a ningún animal o máquina. Por consiguiente, ningún animal o máquina puede pensar»); «La objeción de "Esconder la cabeza en la arena"» («The Heads in the Sand») («Las consecuencias de que las máquinas pudieran pensar son demasiado terribles. Esperemos que no suceda esto»); «La objeción matemática» («Existen algunos resultados de la lógica matemática que se pueden utilizar para demostrar que hay limitaciones a los poderes de las máquinas de estados discretos. El más conocido de estos resultados es el teorema de Gödel»); «El argumento de la consciencia» («Este argumento está muy bien expresado en la Oración Lister de 1949 del profesor Jefferson, de la que cito: "No hasta que una máquina pueda escribir un soneto o componer un concierto que transmitan pensamientos y emociones, y no por la combinación casual de símbolos, podríamos aceptar que una máquina iguala a un cerebro"»); y «El argumento de la continuidad en el sistema nervioso» («Ciertamente, el sistema nervioso no es una máquina de estados discretos. Un pequeño error en la información de,

aproximadamente, el valor de un impulso nervioso que actúa sobre una neurona, puede significar una gran diferencia en el valor del impulso que sale. Se puede argumentar que, siendo esto así, no se puede esperar ser capaz de imitar el comportamiento del sistema nervioso con un sistema de estados discretos»).[58]

Entre las que objeciones que se presentaron posteriormente, mencionaré la que formularon en 1956 Claude Shannon y el informático John McCarthy (1927-2011):[59]

> El problema de dar una definición precisa del concepto de «pensar» y de decidir si una máquina dada es capaz o no de pensar ha suscitado muchas acaloradas discusiones. A. Turing ha propuesto una definición interesante: una máquina es capaz de pensar si, bajo ciertas condiciones prescritas, puede imitar a un ser humano respondiendo a preguntas, durante un razonable período de tiempo, lo suficientemente bien como para engañar a un humano que las formula. Una definición de este tipo tiene la ventaja de ser operacional, o, según los términos psicológicos, conductista... Una desventaja de la definición de pensar de Turing es que, en principio, es posible diseñar una máquina con un conjunto completo de respuestas a todas las posibles cuestiones [*input stimuli*]... En cierto sentido, para cualquier situación planteada (incluyendo la historia pasada) semejante máquina simplemente busca en un «diccionario» la respuesta apropiada. Con un diccionario adecuado, tal máquina seguramente satisfaría la definición de Turing pero no refleja nuestro habitual concepto intuitivo de pensar.

El año anterior, el propio McCarthy, con Martin Minsky (1927-2016), de la Universidad de Harvard, que se convertiría en uno de los expertos más destacados en inteligencia artificial, junto a Nathaniel Rochester (1919-2001), el principal arquitecto de la IBM 701, la primera computadora comercial producida (1952) por IBM, que en 1955 organizó y dirigió un grupo de trabajo para reconocimiento de patrones, teorías de información y de conmutadores de circuitos, y con Shannon presentaron una propuesta a la Fundación Rockefeller para llevar a cabo una reunión en Dartmouth (Hanover, New Hampshire). El

encabezamiento de la propuesta ya incluía el término «Inteligencia Artificial», hasta entonces no utilizado: «A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence» (31 de agosto de 1955).[60] El primer párrafo de la propuesta también incluía el término «inteligencia artificial», todavía sin mayúsculas y sin la abreviatura AI (IA) como se impondría más tarde:

> Proponemos que durante el verano de 1956 tenga lugar en el Dartmouth College, en Hanover, New Hampshire, un estudio con diez personas sobre la inteligencia artificial, que dure dos meses. El estudio es para proceder sobre la base de la conjetura de que cada aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia puede, en principio, ser descrita con tanta precisión que haga posible fabricar una máquina para simularlo. Se intentará averiguar cómo fabricar máquinas que utilicen el lenguaje, formen abstracciones y conceptos, resuelvan las clases de problemas ahora reservados para los seres humanos, y se mejoren a sí mismas. Creemos que puede llevarse a cabo un avance significativo en uno o más de estos problemas si un grupo de científicos cuidadosamente seleccionados trabajan en ello conjuntamente durante un verano.

La reunión se llevó a cabo y se considera como el momento fundacional de la Inteligencia Artificial (IA).[61] Según algunos testimonios, como alternativa a Inteligencia Artificial se consideró «Cibernética», el término introducido por Wiener, pero se desechó para evitar introducir una dimensión filosófica en sus trabajos.[62] La historia del desarrollo de la IA, o mejor de los intentos de conseguirla, ha sido, y continúa siendo, larga y llena de dificultades. Empezó a despegar en la segunda mitad de la década de 1960, según las computadoras iban siendo más potentes. Una aportación que debe recordarse es la que realizó en 1966 Joseph Weizenbaum (1923-2008), un informático judío nacido en Berlín que se trasladó a Estados Unidos con su familia en 1936 huyendo de Hitler. Weizenbaum creó en el MIT un programa que bautizó con el nombre de «ELIZA», el primer *chatbot* (*bot* conversacionales o de charla) como se

denominaría más tarde, esto es, un programa que permite a la máquina mantener «conversaciones» con personas, respondiendo de manera automática, según un «catálogo» preparado por expertos sobre las preguntas más comunes.[63] Por entonces las esperanzas de alcanzar la IA eran elevadas: en 1965, Herbert Simon declaró que «dentro de veinte años, las máquinas serán capaces de hacer cualquier trabajo que un ser humano pueda realizar», mientras que en 1967 Minsky pensaba que «dentro de una generación habrá quedado solventado en lo esencial el problema de crear inteligencia artificial».[64] Tales esperanzas resultaron ser extremadamente optimistas. Y es que el objetivo último de la IA es conseguir que una máquina tenga una inteligencia de tipo general similar a la humana, y también a la no humana, puesto que existen muchos animales que se comportan inteligentemente. Pero es preciso distinguir dos tipos de inteligencia: la IA fuerte y la IA débil, una distinción que introdujo el filósofo John Seartle (n. 1932) en un artículo publicado en 1980 del que cito sus primeros pasajes:[65]

> ¿Qué significado filosófico y psicológico debería asociar a los recientes esfuerzos para simular con una computadora las capacidades cognitivas humanas? Para responder a esta pegunta, encuentro útil distinguir la que denominaré IA (Inteligencia Artificial) «fuerte» de la IA «débil» o «cautelosa». De acuerdo a la IA débil, el valor principal de una computadora en el estudio de la mente es que nos proporciona una herramienta muy poderosa. Nos permite, por ejemplo, formular y comprobar hipótesis de una forma más rigurosa y precisa. Pero según la IA fuerte, la computadora no es una mera herramienta en el estudio de la mente; más bien, la computadora apropiadamente programada es realmente una mente, en el sentido de que se puede decir literalmente que las computadoras provistas de los programas adecuados comprenden y poseen otros estados cognitivos. Debido a que la computadora programada tiene estados cognitivos, los programas no son meras herramientas que nos permiten comprobar explicaciones psicológicas; más bien, los propios programas son esas explicaciones.

Y añadía:

> No tengo objeciones a las pretensiones de la IA débil, al menos en tanto a lo que se refiere este artículo. Aquí mi discusión se dirigirá a las pretensiones de lo que he definido como IA fuerte, específicamente a la afirmación de que una computadora apropiadamente programada posee, literalmente, estados cognitivos y que por tanto los programas explican la cognición humana.

El último párrafo ya sugiere que Seartle dudaba de que se pudiera alcanzar la IA fuerte; consideraba que la conciencia, estrechamente ligada, si no identificada, con la inteligencia (IA fuerte) humana, era un fenómeno neurológico producto del cerebro pero no reducible a la dinámica de los procesos de las conexiones neuronales.[66] No es imposible pensar, en efecto, y aunque él no lo formulase en semejantes términos, que la actividad cerebral obedece a procesos no lineales, y en éstos, como es bien sabido y frente a lo que sucede en los procesos lineales, se producen, *surgen*, propiedades nuevas.

En un excelente resumen de la situación en IA, Ramón López de Mántaras y Pedro Meseguer González han escrito:[67]

> La IA fuerte implicaría que un ordenador convenientemente programado no simula una mente, sino que es una mente y por consiguiente debería ser capaz de pensar igual que un ser humano. Seartle intenta demostrar que la IA fuerte es imposible. Conviene aclarar que no es lo mismo IA general que IA fuerte. Existe obviamente una conexión, pero solamente en un sentido: toda IA fuerte será necesariamente general, pero puede haber IA generales que no sean fuertes, es decir, que simulen la capacidad de exhibir inteligencia general de la mente pero sin ser mentes.
>
> La IA débil consistiría, según Seartle, en construir programas que ayudan al ser humano en sus actividades mentales en lugar de duplicarlas. La capacidad de los ordenadores para realizar tareas específicas mejor que las personas ya se ha demostrado. En ciertos dominios los avances de la IA débil superan en mucho la pericia humana, como, por ejemplo, buscar soluciones a fórmulas lógicas con muchas variables o jugar al ajedrez.

También se asocia con la IA débil el hecho de formular y probar hipótesis acerca de aspectos relacionados con la mente (por ejemplo, la capacidad de razonar deductivamente, de aprender inductivamente, etc.) mediante la construcción de programas que llevan a cabo dichas funciones, aunque sea mediante procesos completamente distintos a los que lleva a cabo el cerebro. Todos los avances logrados hasta ahora en el campo de la IA son manifestaciones de la IA débil.

UNA DIGRESIÓN: COMPUTABILIDAD E IA FUERTE

Antes de entrar en el argumento que pretendo desarrollar en esta sección, debo referirme a un artículo del lógico checo Kurt Gödel que apareció mencionado de pasada en el capítulo 10. El trabajo en cuestión se publicó en 1931 y conmocionó tanto a la matemática como a la filosofía, arruinando la esperanza de hacer de la matemática una disciplina reducible a la lógica, el sueño que persiguieron, a la postre en vano, Bertrand Russell y Alfred North Whitehead en su monumental *Principia Mathematica* (1910-1913). Se titulaba: «Über formal unentscheidbare de *Principia Mathematica* und verwandter System» («Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines») y en él Gödel demostró que la respuesta al segundo problema planteado por David Hilbert en 1900 era, básicamente, negativa: que no es posible lograr un reduccionismo completo en los sistemas matemáticos clásicos, ya que existen sentencias de las que no podemos demostrar si son o no ciertas, y sistemas cuya consistencia es imposible verificar.[68] Un sistema como la aritmética contiene proposiciones cuya verdad no se puede probar desde dentro del sistema, de manera análoga, en cierto sentido, a la paradoja lingüística, que tanto afectó a Bertrand Russell: «Supongamos que un hombre dice: “Soy un mentiroso”. Si es mentiroso, su afirmación es verdadera. Si no es mentiroso, entonces, al decir que es mentiroso, es mentiroso, luego dice la verdad (no es mentiroso). Por consiguiente, cualquier hipótesis implica su contradictoria».

Uno de los resultados del artículo de Turing «On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem», que ya nos apareció tanto en el capítulo 11 como en el presente, es la demostración de que ni siquiera las proposiciones matemáticas cuya verdad es posible decidir por los métodos tradicionales de las matemáticas podrían ser demostradas «constructivamente». Por «constructivamente» se quiere decir construir una máquina computadora que pueda determinar en un tiempo finito esa verdad. Turing —y también, de manera independiente, Alonzo Church (1903-1995) y Emil Post (1897-1954), ambos en 1936— demostraron que existían proposiciones tales que sería necesario un tiempo infinito para que una computadora —o la ideal máquina de Turing; ninguna computadora real dispone de mayor capacidad— pudiera decidir la verdad de tal proposición.

Las operaciones matemáticas que una máquina de Turing no puede ejecutar en un tiempo finito se denominan «no computables». «No sabemos si la naturaleza incorpora cosas no computables en su tejido», ha señalado el físico John Barrow. «Si, por ejemplo, la acción de la mente humana o el fenómeno de la consciencia humana involucran operaciones no computables, entonces la búsqueda de inteligencia artificial no puede tener éxito en producir un ordenador capaz de imitar por completo la complejidad de la consciencia humana.»[69] Por inteligencia artificial quería decir, está claro, IA fuerte.

El ajedrez y la IA

En la referencia citada anteriormente López de Mántaras y Meseguer González mencionaban al ajedrez, al que se ha considerado como la «*Drosophila melanogaster* de la máquina inteligente»: «Exactamente igual a como Thomas Hunt Morgan y sus colegas fueron capaces de explotar las especiales limitaciones y utilidades de la mosca de la fruta *Drosophila* para desarrollar una metodología de la cartografía de los genes, así el juego del ajedrez tiene un

interés especial para el estudio de la representación del conocimiento humano es máquinas».[70] Efectivamente, a pesar de que el ajedrez sea únicamente un ejemplo de IA débil desempeñó un cierto papel en los trabajos relacionados con la IA. De hecho, tanto Turing como Shannon y Wiener le prestaron atención. En 1945, en un informe titulado «Proposed electronic calculator» que presentó en febrero de 1945 al Comité Ejecutivo del National Physical Laboratory, Turing predijo que las computadoras probablemente terminarían jugando «buen ajedrez», opinión que compartió Shannon en un artículo de 1950.[71] De hecho, en 1948 Turing y el economista y matemático David Champernowne (1912-2000) diseñaron un programa, bautizado con el nombre de «Turochamp», para que una computadora jugase al ajedrez, aunque el primero que llegó a ejecutarse en una de estas máquinas fue el que creó en 1951 Dietrich Prinza, un ingeniero que trabajaba en la compañía Ferranti Ltd. La presentación más completa de las ideas de Turing sobre el ajedrez se publicó en 1953 dentro de un capítulo que firmaba junto a Audrey Bates, Vivian Bowden y Christopher Strachey y que formaba parte de un libro titulado *Faster than Thought*.[72]

En lo que se refiere a Wiener, encontramos un buen ejemplo de su interés por el ajedrez en un libro de carácter general que publicó en 1950 y revisó en 1954, *The Human Use of Humans Beings: Cybernetics and Society*:[73]

> Hace algún tiempo, sugerí un modo de utilizar una de las modernas máquinas de calcular para jugar una partida de ajedrez bastante pasable. En estas investigaciones sigo un sendero que tiene una larga historia [...]. La máquina que me imagino es genuina y provecha algunos progresos recientes de las de calcular. Es fácil construir una que juegue pobremente, de acuerdo con las reglas. Es una tarea sin esperanza construir una que lo haga perfectamente, pues requeriría demasiadas combinaciones. El profesor Johann von Neumann, del Instituto de Estudios Superiores de Princeton, ha comentado esta dificultad. Sin embargo, no es fácil ni imposible construir una que jugará lo mejor posible para un número limitado de jugadas. Digamos dos, y que dejará el tablero en la posición

más favorable de acuerdo con algún método más o menos fácil de evaluación.

Las actuales máquinas ultrarrápidas de calcular pueden actuar como jugadoras de ajedrez, aunque podría producirse una mejor, a un precio exorbitante, si decidiéramos construirla exclusivamente para ese fin. Su velocidad es suficiente para evaluar toda posibilidad, teniendo en cuenta las dos próximas jugadas, durante el tiempo legal de una sola. El número de combinaciones aumenta aproximadamente en progresión geométrica. Así pues, la diferencia entre el cálculo de todas las posibilidades después de dos jugadas y el mismo número después de tres es enorme. No hay posibilidad de jugar una partida, algo así como 50 jugadas, en un tiempo razonable [...].

El señor Claude Shannon, de los laboratorios Bell, ha sugerido una máquina de acuerdo con las mismas ideas de la de dos jugadas propuesta por mí [...]. Coincido con Shannon en que una máquina de esa clase jugaría un ajedrez como un aficionado muy bueno y hasta posiblemente como un maestro. Su juego sería rígido y carecería de mucho interés, pero sería mucho más seguro que el de cualquier ajedrecista humano.

Las previsiones de Wiener —«Es una tarea sin esperanza construir una [máquina computadora] que lo haga perfectamente, pues requeriría demasiadas combinaciones», «No hay posibilidad de jugar una partida, algo así como 50 jugadas, en un tiempo razonable»— han terminado siendo refutadas: *Deep Blue*, una computadora de IBM, derrotó el 11 de mayo de 1997 a Garry Kasparov, campeón mundial de ajedrez. Veinte años después, en enero de 2017, una máquina, *Libratus*, construida por dos matemáticos, Noam Brown y Tuomas Sandholm, de la Universidad Carnegie Mellon, de Pittsburg, ganó en una partida de póker a cuatro campeones mundiales de ese juego. Se trata de un logro particularmente significativo porque el póker no es como el ajedrez, basado en reglas lógicas, en millones y millones de posibilidades; éstas están pero todas obedeciendo a unas reglas fijas, mientras que en el póker desempeñan un papel central las iniciativas de las personas, incluidos los «faroles».

Aparte del espectacular aumento de la potencia de cálculo de las computadoras, un elemento que hace de estas más poderosas es su capacidad de «aprendizaje». A esta propiedad también se refirió Wiener en su libro:[74]

> Otra [máquina] más perfecta guardaría en una cinta todas las partidas que ha jugado y complementaría los métodos que ya hemos indicado mediante una investigación de todas las anteriores, para encontrar algo adecuado, es decir, mediante el aprendizaje. Aunque hemos expuesto la posibilidad de construir máquinas capaces de aprender, es muy imperfecta todavía la técnica de proyectarlas y utilizarlas. No ha llegado aún la hora de construir una máquina de jugar al ajedrez de acuerdo con ese principio, pero probablemente no está muy lejos.

Efectivamente, la hora de máquinas calculadoras que «aprenden» terminó llegando.[75] Así, una compañía londinense dedicada a la IA, DeepMind, creada en 2010 como DeepMind Technologies, y adquirida en 2014 por Alphabet Inc., empresa matriz de Google, ha conseguido desarrollar un programa de «aprendizaje profundo reforzado» («*Deep Reinforcement Learning*») que había preparado para jugar al go —con el que consiguió vencer en 2015 a campeones de este complejo juego— que permite que la máquina que lo ejecuta aprenda «por experiencia» las reglas del ajedrez, del shōgi y de Atari. «Por experiencia» quiere decir que «aprende solo por inputs de vídeo, la recompensa y señales de terminales, además del conjunto de posibles acciones, justo como haría un jugador humano».[76]

En cuanto al Test de Turing, a pesar de los muchos progresos que se han realizado al aumentar exponencialmente la potencia de las computadoras, si se trata de IA fuerte, todavía no se ha conseguido superar ya que, utilizando la expresión del programador británico Steve Worswick, ninguna computadora «tiene proyectos, ambiciones o sueños propios y aunque aparenten ser capaces de mantener una conversación, todo es una ilusión».[77]

Pero aunque se trate de IA débil, los dispositivos «inteligentes» ya están presentes en todo tipo de actividades humanas, ayudando a resolver algunos de los problemas que tiene planteados la humanidad: vehículos —existen prototipos— que no necesitan de un conductor, que, por ejemplo, incrementarán la movilidad de ancianos y discapacitados; edificios inteligentes que permiten economizar los gastos energéticos y reducir las emisiones de dióxido de carbono; servicios médicos automatizados, presenciales o a distancia; o sistemas para mejorar la enseñanza en todos los niveles educativos. Los ejemplos de máquinas como éstas, que no sólo respondan a preguntas sino que reaccionen ante el entorno, que tomen decisiones ante situaciones inesperadas y que puedan aprender de «experiencias» anteriores, son ya muy numerosos y lo serán mucho más pronto. Por supuesto, también están los sistemas inteligentes «móviles», los *robots* que podrán mantener —existen algunos— otros tipos de relación, más personales y afectivas, con los humanos, y de apariencia más similar a ellos.

El siglo xxi, escenario de la Cuarta Revolución Industrial

Estamos en el umbral de este mundo, que florecerá a lo largo del siglo xxi. Pero aparecerán problemas importantes. Uno de ellos es cómo afectará al mercado laboral. Algunos estudios pronostican que en dos décadas el 47 % de los empleos en Estados Unidos se verán sustituidos por procesos automatizados. El empleo crecerá, parece, en puestos de trabajo cognitivos y creativos de altos ingresos, y en ocupaciones manuales de bajos ingresos, pero disminuirá con fuerza para los empleos rutinarios y repetitivos de ingresos medios. Algunos sostienen que al igual que en épocas anteriores de cambio tecnológico el balance para el mercado laboral resultó siempre positivo, lo mismo sucederá ahora. No lo sabemos; recordemos que la historia no ofrece necesariamente lecciones inmutables, sólo formas racionales de comprender el pasado. Lo que es seguro es

que muchas personas sentirán lo mismo que los luditas de los siglos XVIII y XIX, que trataron de combatir las máquinas de hilar que amenazaban sus trabajos en los nuevos telares industriales. Pero los luditas perdieron la batalla, como la perderán, si es que aparecen, quienes intenten luchar contra la robotización inteligente en curso.

Klaus Schwab (n. 1938), fundador del Foro Económico Mundial que se reúne anualmente en Davos (Suiza), ha acuñado el término «Cuarta revolución industrial» para el proceso que se inició a comienzos del siglo XXI y que se basa en las posibilidades del mundo digital; «se caracteriza», ha señalado, «por un internet más ubicuo y móvil, por sensores más pequeños y potentes y que son cada vez más baratos, y por la inteligencia artificial y el aprendizaje de la máquina».78 Las anteriores fueron, según él, la propiciada por la invención de la máquina de vapor, la que se produjo entre finales del siglo XIX y comienzos del XX, caracterizada por la producción en masa gracias al desarrollo de la ciencia electromagnética y la cadena de montaje, y la de la globalización, posible debido a las técnicas digitales y las computadoras, se inició en la década de 1960.

El siglo XXI será, ya lo está siendo, la centuria en la que florecerán campos como la inteligencia artificial, robotización, nanotecnociencia, materiales y una nueva medicina, la de la ingeniería genética y la biología sintética.

Capítulo 13

LA NUEVA MEDICINA

Vimos en el capítulo 4 los profundos avances que tuvieron lugar en la medicina a lo largo del siglo XIX, centrados especialmente en la fisiología, teorías celular y microbiana de algunas enfermedades, así como en tratamientos clínicos del tipo de la vacunación, anestesia o las técnicas de asepsia. Pero el siglo XX no le fue a la zaga, aunque las novedades fueran entonces, en general, de diferente naturaleza u origen. A algunos de estos desarrollos está dedicado el presente capítulo, que tendrá continuidad en el siguiente en el que abordaré lo que con toda justicia se puede denominar una «revolución», la del ADN.

La penicilina y el nacimiento de la era de los antibióticos

Se entienda como se entienda la medicina, sus grandes propósitos son conseguir el mantenimiento de la salud y salvar vidas. Pues bien, a tales fines contribuyó de manera muy importante un descubrimiento que cambió radicalmente los tratamientos de las infecciones bacterianas, el de la penicilina, tal vez el medicamento que más vidas ha salvado en la historia de la humanidad.

La penicilina fue descubierta —fortuita mente, cierto es — en 1928 por el escocés Alexander Fleming (1881-1955), que trabajaba por entonces en los Laboratorios del Departamento de Inoculación del St. Mary's Hospital de Londres.[1] La trascen den cia de su hallazgo no disminuye porque él mismo no advirtiera todas las posibilidades del moho *Penicillium* (más correctamen te: de la sustancia producida por ese moho, que él mismo comprobó poseía el

efecto antibacteriano; la *penicilina*, como él la denominó). Fleming pensaba que la acción antibacteria na de la penicilina se limitaba a un lavado con ella, o a una pomada aplicada externamen te al paciente, no de manera interna. Entre las razones que pueden explicar esta suposición de Fleming, se encuentra, por un lado, lo novedoso de la idea de que pudiesen existir fármacos antibacterianos, y también el hecho de que no poseía las habilida des o las facilidades químicas suficientes para aislar penicilina pura con la que realizar ensayos clínicos fiables, esto es, para purificar el líquido amarillo que atacaba a las bacterias y extraer así su principio activo (la penicilina es difícil de obtener en forma pura debido a su inestabilidad). De hecho, hubo que esperar hasta el 24 de agosto de 1940, ya en plena Segunda Guerra Mundial, para que varios investigadores de la Dunn School de Patología de Oxford, entre los que destacaban el patólogo australiano Howard Walter Florey (1898-1968), que dirigía el grupo, y el joven bioquímico Ernst Chain (1906-1979), un refugiado de la Alemania nazi que fue el que redescubrió el por entonces ya viejo artículo de Fleming, publicaran, junto a otros colaboradores entre los que se encuentra Norman Heatley (1911-2004) quien propuso un nuevo método para extraer la penicilina, un histórico artículo, en el que presenta ban investiga ciones con ocho ratones que demostra ban que la penicilina era, con mucho, el agente químico-terapéutico más efectivo producido hasta entonces.[2] Naturalmente, la siguiente fase era probar con los humanos, pero ésta era una tarea complicada de llevar adelante, dadas las dificulta des existentes para obtener penici lina suficiente. Un paso significa tivo tuvo lugar en enero de 1942, cuando Florey administró de forma intravenosa penicilina preparada con la ayuda de Imperial Chemical Indus tries a 15 pacientes, y de manera local a otros 172. Midiendo los niveles de penicilina en sangre y estudiando los efectos clínicos estableció las dosis adecuadas para diversos tratamien tos. Aun así, en medio de la Segunda Guerra Mundial, con evidencias firmes pero no demasiado abundantes, no existía

en Gran Bretaña ninguna compañía farmacéu tica capaz de dedicar los recursos suficientes para producir cantidades industria les de penicilina, o dispuesta a hacerlo. Por este motivo Florey solicitó la ayuda de la Fundación Rockefeller, en Nueva York, que de hecho ya apoyaba sus investigaciones. Con su colaboración y la del destacado farmacó logo estadounidense A. N. Richards, que ya había trabajado con Florey en Inglaterra, consiguió que algunas compañías farmacéuti cas (Merck, Pfizer y Squibb) arriesga sen los recursos necesarios. En 1944 ya se disponía de cantidades suficientes de penicilina para poder tratar a heridos de guerra en África del Norte y Europa, al igual que para las infecciones graves de civiles. En 1945, Fleming, Florey y Chain recibían el premio Nobel de Medicina.

La referencia a que la introducción de la penicilina tuvo lugar durante la Segunda Guerra Mundial merece un comentario, ya que resalta la relación entre ciencia y sociedad. Utilizaré para presentarlo lo que escribió en 1954 alguien que vivió aquellos tiempos, el cristalógrafo John D. Bernal, con el que volveremos a encontrarnos en este capítulo, aunque acaso sus palabras escondan alguna exageración:[3] «En el momento en que se había probado el valor clínico del medicamento [la penicilina], se desencadenó la guerra y, por tanto, las etapas subsiguientes de su purificación y su preparación en gran escala se realizaron a una velocidad que jamás se hubiera logrado en época de paz. El esfuerzo conjugado que entonces se hizo —en los campos de la química, la biología y la medicina— fue comparable al que posteriormente se dedicó al desarrollo de la bomba atómica. El trabajo se efectuó apresuradamente, posiblemen te empleando más trabajadores científicos que los que hubieran sido estrictamente indispensables. Pero lo importante es que se hizo. Si se hubiera ejecutado con menos premura, se habrían ahorrado muchas horas de trabajo, pero hubieran muerto millares de seres humanos. Es más, si no hubiese sido por la guerra, tal vez no se hubiera prosegui do en el estudio de la penicilina; ya que al principio no parecía

especialmente prometedora, y, por tanto, en otras condiciones hubiera sido difícil obtener fondos suficientes para avanzar hasta el punto de poder probar su valor».

El entusiasmo que generó el nuevo fármaco es comprensible. La ciencia que subyacía en su descubrimiento y desarrollo no era especialmente novedosa, aunque sí delicada, pero los resultados que el nuevo fármaco suministraba eran espectaculares (contraindicaciones, como la sensibilización a la penicilina, no serían descubiertas hasta mucho después). No es, en consecuen cia, sorprendente que se buscasen otros medicamentos que cumplieran funciones parecidas. Éstos no tardaron en llegar: el primero fue la estreptomici na, cuyo descubrimiento se asignó al microbiólogo estadounidense de origen ruso Selman Waksman (1888-1973) —quien, por cierto, acuñó el término «antibiótico»— y sus colaboradores de la Universidad estadounidense del Rutgers College.[4] Sin embargo, el descubridor real fue el primer firmante del artículo en el que se anunció el descubrimiento, Albert Schatz (1920-2005), un doctorando de Rutgers que trabajaba en un proyecto dirigido por Waksman dedicado a la búsqueda de antibióticos para combatir infecciones tanto en los soldados que estaban combatiendo en la Segunda Guerra Mundial como en el ámbito civil.[5] En 1952, Waksman recibió el premio Nobel de Medicina, «por su descubrimiento de la estreptomicina, el primer antibiótico eficaz contra la tuberculosis».

Además de su eficacia contra la tuberculosis, la estreptomicina también servía como tratamiento para otras infecciones bacterianas que no remitían con la penicilina.[6] Más tarde llegaban otros antibióticos, como la aureomicina, desarrollada por los Laborato rios Lederle en 1948, el cloramfe nicol (Parke-Davis, 1949), el primer antibiótico completamente sintético, capaz de luchar contra la fiebre tifoidea, o la terramicina (Pfizer, 1950).

De esta manera se abrió un mundo nuevo, podríamos decir una era nueva en la que los antibióticos constituyeron un medicamento esencial. Un mundo médico del que se

beneficiarían a partir de entonces cientos de millones de personas, muchas de las cuales seguramente habrían muerto sin el auxilio que recibieron de esos antibióticos.

Trasplantes

Otro desarrollo médico completamente novedoso que se dio en el siglo xx fue el de los trasplantes de órganos a seres humanos. La historia de estas acciones médicas no está exenta de precedentes, entre otras razones porque los transplantes pueden ser de tipos muy diversos, por ejemplo, de piel o de arterias. El primer intento de trasplante de órganos de un donante humano muerto fue el realizado por el cirujano ucraniano, Yu Yu Voronoy (1896-1961), el 3 de abril de 1933, quien trasplantó el riñón de un cadáver a una joven aquejada de insuficiencia renal.7 El intento, no obstante, resultó un fracaso ya que la receptora falleció el día siguiente al rechazar su cuerpo el nuevo órgano. Éste fue el primero de los muchos intentos de sustituir con éxito un riñón de una persona fallecida en otra viva. En una vía paralela, el 23 de diciembre de 1954 Joseph Murray, del Hospital Peter Bent Brigham de Boston, tras plantó un riñón de un donante vivo a su hermano gemelo. Fue un éxito total y duradero. No tardarían demasiado en convertirse estas operacio nes en rutinarias.

En la década de 1960 se iniciaron los tras plantes de otros órganos. El 11 de junio de 1963, en Jackson (Mississippi), James Hardy (1918-2003) trasplantó los pulmones de una persona fallecida a un paciente que sufría de cáncer pulmonar, pero éste sobrevivió solamente dieciocho días, debido a un fallo renal. Aquel mismo año, Thomas Starzl intentó, en Denver, un trasplante de hígado, pero no tuvo éxito. Éste se alcanzaría en 1967 (Richard Lillehei y William Kelly, Minnesota).

Pero cuando los trasplantes llegaron realmente a las portadas de los periódicos, cuando el mundo sintió que se había traspasado una nueva frontera, fue el 3 de diciembre de 1967, el día en que el cirujano sudafricano Christiaan

Barnard (1922-2001) del Hospital Groote Schuur, en Ciudad del Cabo, trasplantó un corazón procedente de una mujer de veinticuatro años, fallecida en un accidente de circulación, a un inmigrante lituano de cincuenta y cinco años, Louis Washkansky, que había sufrido una serie de infartos durante los siete años precedentes y cuyo corazón estaba en tal estado que los cardiólogos estimaban que moriría en unas pocas semanas.[8] Washkansky sobrevivió dieciocho días. Falleció de neumonía doble: su sistema inmunológico, suprimido con medicamentos y radiaciones para que no atacase a su nuevo corazón, había sido incapaz de luchar contra la infección. En enero del año siguiente, Barnard realizó un nuevo trasplante de corazón, esta vez con mayor éxito, ya que el paciente sobrevivió 594 días. Pronto los trasplantes de corazón se extendieron por todo el mundo: en los cuatro años siguientes, 56 equipos de cirujanos llevaron a cabo un total de 180 trasplantes (100 de ellos el primer año). No obstante, muchos hospitales abandonaron la práctica debido a los problemas de rechazo inmunológi co que producían los órganos recibidos. Afortunadamen te, estos problemas terminaron siendo superados en gran medida, y los trasplantes de corazón —al igual que muchos otros que implican a diferentes órganos— constituyen una práctica extendida, a la que miles de personas deben la vida. Hechos como éstos deben ser recordados cuando se habla acerca de si aceptar o rechazar las posibilidades que está abriendo la biología molecular.

El reino de las imágenes

La medicina es, como señalé en el capítulo 4, una refinada mezcla de ciencia, técnica y arte. El conocimiento científico es fundamental, pero no menos lo son los instrumentos, los medios técnicos de que disponen los médicos para ejercer su labor. El siglo xx fue pródigo en el desarrollo de nuevos instrumentos que ampliaron, hasta límites antes difícilmente imaginables, las posibilidades de análisis y tratamientos médicos. Particularmente

importante fue el desarrollo de técnicas de imagen, que se inició de la mano de la física cuando a finales de 1895 se dispuso, como se vio en el capítulo 6, de un instrumento absolutamente novedoso: los rayos X de Wilhelm Röntgen, que permitían «ver» dentro del cuerpo humano. Tres meses después del descubrimiento de Röntgen, el 7 de febrero de 1896 John Cox, profesor en la Universidad McGill de Montreal, realizaba la primera publicación de una aplicación médica: la localización de una bala en la pierna de un paciente, que no había podido ser identificada quirúrgicamente. Un año después, en 1897, se fundaba en Londres la Roentgen Society, con una revista, *Transactions of the Roentgen Society*, que en 1904 adoptó el nombre de *The Journal of the Roentgen Society*, y que en 1928 se integró en una nueva publicación, *The British Journal of Radiology*, órgano del British Institute of Radiology, organización que muestra que el proceso de institucionalización de estas disciplinas físico-médicas estaba en marcha (en 1963 se creaba la International Organization for Medical Physicists).

El que se descubriese una radiación que permitía observar el interior de un cuerpo significó una de las mayores contribuciones de todos los tiempos a la medicina, que a su vez abrió un nuevo campo: el de las técnicas de imagen. Pero no todo fue bueno y hermoso, al menos al principio: la baja sensibilidad de las películas fotográficas de que se disponía en los primeros tiempos de la introducción de los rayos X en medicina hizo que se llegasen a necesitar hasta más de diez minutos de irradiación. Es fácil imaginar lo que esto significa (en la actualidad se precisan unos pocos milisegundos). Aun así, y no sin razón, el físico estadounidense Arthur Holly Compton, experto en rayos X, que apareció brevemente mencionado en el capítulo 6, afirmaba en un artículo publicado en 1945 en la revista *Radiology* lo siguiente:[9]

> Si la ciencia es la gran búsqueda intelectual del mundo moderno, el descubrimiento [de los rayos X] constituye uno de los mayores logros de la época. Existen, no obstante, quienes quieren medir la importancia en dólares, o en la forja del

> destino nacional, o en términos de la vida humana. Incluso en términos tan prácticos, el descubrimiento de los rayos X debería ser reconocido como un acontecimiento extraordinario en la historia del hombre.
>
> En lo que se refiere a la vida humana, deberíamos recordar que el efecto directo de la utilización de los rayos X y del radio en diagnóstico y terapia ha salvado un número de vidas que es comparable con el número de soldados muertos en una guerra mundial.

Como es natural —sucede generalmente con prácticamente todos los descubrimientos—, con el paso del tiempo se introdujeron nuevas técnicas que mejoraron la utilización de los rayos X en medicina. La primera fue suministrar al paciente sustancias densas para facilitar el contraste de la imagen obtenida. En 1897, el eminente fisiólogo estadounidense Walter B. Cannon (1871-1945) utilizó materiales pesados (bismuto primero y luego sulfato de bario, menos tóxico que aquél) administrados como papillas para el estudio del aparato digestivo. Otro desarrollo importante fue la introducción, en 1955, del intensificador de imágenes, que sustituía las placas fotográficas por un elemento electrónico. La principal ventaja de este método fue que su rápida respuesta permitía observar y registrar fácilmente imágenes en movimiento, algo muy útil en estudios vasculares y en radiología intervencionista. Además, abría la puerta a la radiología digital, en la que la imagen es recogida mediante un detector electrónico conectado a un ordenador.

Un pariente más preciso y avanzado de esta técnica es la tomografía axial computerizada, en la que un tubo emisor de rayos X y un detector giran describiendo un círculo alrededor del paciente. De esta manera, en lugar de observar una imagen de proyección bidimensional, como en una radiografía convencional, se consigue complementar imágenes frontales con otras laterales, lo que permite lograr la percepción de profundidad. Con las imágenes recogidas, un programa de ordenador reconstruye los cortes o secciones tomográficas de la zona del cuerpo (órganos internos, huesos) que se desea. Los creadores de la

tomografía asistida por ordenador fueron un físico y un ingeniero electrónico, Allan Cormack (1924-1988) y Godfrey Hounsfield (1914-2004). Precisamente en su conferencia Nobel, Cormack explicó cómo llegó a interesarse por el problema del que surgió la tomografía axial computerizada; es interesante citar lo que dijo en aquella ocasión:

> En 1955, yo era *lecturer* de Física en la Universidad de Cape Town (Sudáfrica) cuando el físico del Hospital Groote Schuur dimitió. La ley sudafricana exige que un físico propiamente cualificado supervise la utilización de los isótopos radiactivos y como yo era el único físico nuclear en Ciudad del Cabo me pidieron que pasase un día y medio a la semana en el hospital vigilando el empleo de isótopos, algo que hice durante la primera mitad de 1956. Me ubicaron en el Departamento de Radiología bajo la dirección del Dr. J. Muir Grieve y en el curso de mi trabajo observé la planificación de los tratamientos de radioterapia. Una mujer superponía tablas de dosis de isótopos y producía curvas de dosis que el médico examinaba y ajustaba, un proceso que se repetía hasta que se encontraba una distribución de dosis satisfactoria. Las tablas de dosis de isótopos eran para materiales homogéneos y se me ocurrió que como el cuerpo humano es bastante poco homogéneo los resultados se verían deformados por las ausencias de homogeneidades, un hecho del que, por supuesto, los médicos eran muy conscientes. Pensé que para mejorar la planificación del tratamiento tendría que conocerse la distribución del coeficiente de atenuación de los tejidos del cuerpo [la cuantía del haz de radiación que se debilita al atravesar el cuerpo] y que esta distribución tendría que encontrarse realizando medidas externas al cuerpo. Pronto se me ocurrió que esta información sería útil para los diagnósticos y que constituiría un tomograma o series de tomogramas, aunque no aprendí la palabra «tomograma» hasta muchos años después.

Cormack comprendió que se necesitaba una función matemática bidimensional que describiese la atenuación de los rayos X en cada parte de una sección de órgano o tejido. También pensó que si se obtenía el suficiente número de proyecciones con ángulos diferentes, podría lograrse la información necesaria para determinar de manera

cuantitativa la estructura interna del organismo y más tarde reconstruir las imágenes de forma que tuvieran utilidad diagnóstica. Aquel mismo año se trasladó a la Universidad de Harvard, donde se dedicó a desarrollar una teoría matemática para la reconstrucción de las imágenes, teoría que sometió a pruebas mediante una simulación en el laboratorio el año siguiente, cuando regreso a Ciudad del Cabo. Allí continuó desarrollando su modelo matemático y realizando pruebas experimentales (siempre con fuentes radiactivas), publicando finalmente sus resultados en 1963, aunque éstos no atrajeron la atención necesaria.

Diez años después de que Cormack se introdujese en estos dominios, Godfrey Hounsfield, del Departamento de Sistemas Médicos de los Laboratorios Centrales de Investigación de EMI (Electric and Musical Industries), en Londres, comenzó investigaciones parecidas utilizando una fuente de rayos X. Desconocía los trabajos de Cormack y desarrolló su propio método de reconstrucción de la imagen. Y fue más allá que Cormack, construyendo una máquina real. Primero probó con un cerebro humano conservado en el museo de un hospital cercano, y luego, en 1972, con un paciente, una mujer de la que se sospechaba que padecía una lesión cerebral. La imagen reveló un quiste circular en el cerebro. Nacía así la tomografía axial computerizada (TAC). Un ejemplo más de los grandes beneficios que se obtienen cuando se producen alianzas entre física y medicina, por mucho que éstas sean tan casuales y temporales como la de Cormack, al que se le ocurrieron sus ideas gracias a encontrarse en un medio diferente (un hospital) al habitual en un físico como él.

En 1979, Cormack y Hounsfield recibían el premio Nobel de Fisiología o Medicina; por entonces el nuevo sistema de imagen se utilizaba en alrededor de mil hospitales del mundo.

Otra técnica de diagnóstico médico por imagen, que fue desarrollada en la década de 1970 es la tomografía de emisión de positrones (PET, de Positron Emission Tomography), que utiliza las propiedades de los positrones

emitidos por sustancias radiactivas como el carbono-11, oxígeno-15, nitrógeno-13 o flúor-18, que son producidas en un ciclotrón. Es una técnica invasiva ya que hay que inyectar el radiofármaco. Tras recorrer una corta distancia, el radioisótopo se desintegra y produce positrones, el positrón choca con un electrón del cuerpo del paciente, momento en que tiene lugar la aniquilación de ambos. La energía producida en el proceso de aniquilación se disipa en forma de dos fotones gamma, que se mueven en direcciones opuestas y que son detectados mediante un par de sensores, procesándose posteriormente la información recibida, lo que permite analizar la distribución tridimensional del radiofármaco en el interior de los tejidos. La PET se convirtió en un instrumento fundamental para estudiar los mecanismos de las reacciones químicas *in vivo* y las bases moleculares de la adicción a las drogas y del síndrome de abstinencia, del envejecimiento, de diferentes trastornos neurológicos y enfermedades mentales. Se trata de una técnica muy útil para estudiar la bioquímica y la fisiología del cuerpo humano, entender cómo funcionan los tejidos y los órganos o conocer cómo se está produciendo un proceso metabólico dentro del organismo; con ella es posible, por ejemplo, marcar compuestos bioquímicos fundamenta les como las enzimas, o utilizar el aminoáci do metionina que produce con el carbono-11 imágenes de regiones con crecimiento tumoral activo. Un acontecimiento relevante de esta técnica tuvo lugar en 1973, cuando la PET se utilizó para mostrar la actividad metabólica cerebral: nacía así una rama nueva de la neurología.

Diferente de las técnicas TAC y PET es la basada en la resonancia magnética nuclear, un fenómeno identificado, como señalé en el capítulo 6, en 1946 de manera independiente por dos grupos dirigidos, respectivamente, por los físicos estadounidenses Felix Bloch y Edward Purcell y llevada a la medicina en la década de 1970. El responsable de este nuevo método de imagen fue el médico estadounidense, especializado en cáncer y con experiencia

en física, Raymond Damadian (n. 1937). Desde el punto de vista físico, la técnica se basa en el hecho de que algunos núcleos atómicos, y en particular el del hidrógeno, cuyo núcleo está constituido por un único protón, se comportan como minúsculos imanes (nanoimanes) cuando se aplica un campo magnético de suficiente intensidad, alineándose los núcleos en cuestión en la dirección del campo. Si entonces se aplica una señal de radiofrecuencia se perturba esa configuración, produciendo un movimiento de precesión. Durante el tiempo que tardan los núcleos en retornar a su configuración de alineación, emiten señales electromagnéticas medibles, que detecta un sensor que las envía a un ordenador en el que, mediante técnicas matemáticas, son convertidas en imágenes que revelan la distribución del hidrógeno en el organismo y su tiempo de relajación. Y como el hidrógeno, al formar parte del agua, es el componente más abundante en el cuerpo humano y la señal emitida depende de la combinación química de las moléculas del agua, se pueden obtener imágenes de cualquier tejido del cuerpo observando las diferencias de su contenido en agua y discriminar entre sanos y patológicos.

La idea de Damadian fue suponer que los átomos de hidrógeno de los tejidos cancerosos reaccionaban de forma diferente en la resonancia magnética nuclear que los de los tejidos normales (su tiempo de relajación era superior). Comenzó a trabajar en esta idea en 1971 desarrollando un mecanismo para hacerla operativa, y el 17 de marzo de 1972 solicitaba una patente para «Detectar tejidos cancerosos en células corporales». La realización práctica llegó el 3 de julio de 1977, con una máquina bautizada como *Indomitable* (*Indomable*), con la que tomó la primera imagen topográfica, de un colega, Lawrence Minkoff. (En 1978 Damadian fundó una compañía, FONAR, para comercializar su invento.) Sin embargo, la técnica era aún algo primitiva: necesitaba cuatro horas para reconstruir las imágenes línea a línea. Desarrollos posteriores, especialmente los de Paul Lauterbur, que recibió el premio Nobel de Psicología y Medicina en 2003 junto a Peter

Mansfield (el jurado no premió a Damadian) resolvieron este y otros problemas haciendo de la resonancia magnética nuclear (RMN) una técnica médica con múltiples aplicaciones ya que permite producir imágenes de gran contraste de los tejidos blandos del cuerpo, permitiendo el seccionado de éste en «láminas» y generando imágenes a distintas profundidades. También sirve para estudiar la bioquímica del cuerpo humano *in vivo*.

Mencionaré por último que las técnicas de diagnóstico por imagen no están basadas únicamente en el uso de las radiaciones (ionizantes, como son los rayos X y los rayos gamma; o de radiofrecuencia, como en la RMN). La *ecografía* utiliza ultrasonidos. Es una técnica desarrollada a partir del sónar, el instrumento militar diseñado para la guerra submarina, en cuyo desarrollo, como se mencionó en el capítulo 8, se comenzó a trabajar durante la Primera Guerra Mundial aunque fue durante la Segunda cuando se perfeccionó. Los ultrasonidos son ondas menos problemáticas que las radiaciones ionizantes al no afectar a los átomos y moléculas de los tejidos. Estas ondas pueden viajar a través de los tejidos biológicos, reflejándose cada vez que encuentran una nueva superficie, lo que sucede cuando pasan por diferentes tipos de tejidos. Cuando se reciben en el detector, las ondas reflejadas se amplifican para poder ser escuchadas, o bien se convierten en señales que pueden ser procesadas con la ayuda de un ordenador para proporcionar datos específicos sobre la forma y posición de los tejidos. En las primeras máquinas de ultrasonidos el paciente tenía que sumergirse en una bañera, pero en 1957 se diseñó un escáner de contacto muy parecido a los, más o menos definitivos, que entraron en servicio hacia 1980, utilizándose preferentemente en las exploraciones durante el embarazo, aunque también se emplea frecuentemente como técnica exploratoria no invasiva en exámenes de, por ejemplo, vasos sanguíneos, corazón, vejiga, hígado, riñón, próstata, etc.

Es preciso señalar que la introducción de las técnicas de imagen para el diagnóstico no es sino un apartado entre

las numerosas técnicas que pasaron a formar parte del instrumental de los médicos del siglo XX. Señalar finalmente que la abundancia de nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento basados en propiedades físicas ha conducido al establecimiento de un área conocida actualmente como física médica.

La píldora

Existimos porque somos capaces de reproducirnos. Y para alentar esta imprescindible función los mecanismos evolutivos han dotado de un carácter atractivo a las relaciones sexuales entre humanos. Semejante carácter hace que muchos deseen mantener relaciones sexuales sin que éstas tengan la consecuencia de engendrar hijos. A este fin se han desarrollado métodos muy diversos a lo largo de la historia, pero ninguno tuvo la base científica, y probablemente el éxito, que un producto químico desarrollado en el siglo XX: la píldora anticonceptiva. El principal responsable de la creación de este revolucionario método contraceptivo fue un estadounidense, Gregory Pincus (1903-1967), pero las hormonas sintéticas que son sus ingredientes fueron resultado de investigaciones anteriores.[10] Así, la primera persona en sugerir la idea de una píldora anticonceptiva fue el austríaco Ludwig Haberlandt (1885-1932), que comenzó sus investigaciones en la Universidad de Innsbruck en 1919, descubriendo que se podían utilizar hormonas para evitar los embarazos. En 1927 declaraba: «Mi propósito: ¡pocos hijos, pero deseados!».

Basándose en los resultados de Haberlandt, otros científicos descubrieron que la hormona en cuestión era la progesterona, pero ésta era difícil de aislar y, en consecuencia, cara y, además, poco eficaz cuando se dispensaba en forma oral. En 1944 el estadounidense Russell Marker (1902-1995) descubrió que la progesterona se podía sintetizar a partir de un producto químico contenido en una planta mexicana, y formó una compañía

denominada Syntex para intentar desarrollar un proceso comercial, pero abandonó esta compañía un año después al descubrir que no le abonaban los beneficios. Esto hizo que fuese casi una década más tarde, en 1951, cuando el austríaco afincado en Estados Unidos Carl Djerassi (1923-2015), con la ayuda de dos colegas mexicanos, Luis Miramontes y George Rosenkranz, lograsen producir progesterona sintética (noretindrona), un paso decisivo para la creación de cualquier píldora contraceptiva. Entretanto, el polaco-estadounidense Frank Colton (1923-2003) había estado desarrollando los resultados de Marker en la farmacéutica Searle, generando dos patentes con otro método de sintetizar hormonas: produjo lo que en realidad fue el primer contraceptivo oral, Enovid. Pero tanto Colton como Djerassi se limitaban a utilizar sus hormonas sintéticas para tratar problemas menstruales, y parece que ninguno de los dos pensó en utilizarlos como contraceptivo hasta que Margaret Sanger (1879-1966), implicada desde hacía tiempo en los movimientos de planificación familiar (en 1916 había fundado la primera clínica de control de natalidad que existió en Estados Unidos, por lo que fue encarcelada, y en 1921 creó la Liga para el Control de la Natalidad), comenzó a trabajar en la dirección de una píldora oral contraceptiva, a la que llegó finalmente Pincus utilizando el producto de Colton.[11] Se comenzaron a realizar pruebas clínicas con esta píldora en 1954, tarea en la que destacó John Rock (1890-1984), y en 1960 ya estuvo disponible al público en Estados Unidos, el año siguiente en Gran Bretaña. En la actualidad, muy mejorada, la píldora anticonceptiva aún la utilizan millones de mujeres de todo el mundo.

Como se ve, en la producción de la píldora anticonceptiva intervinieron varias personas. Al responder a la pregunta de «¿De veras es usted el padre de la píldora?», Carl Djerassi se refirió a este punto de la siguiente manera:[12]

> Siempre me hacen esa pregunta del mismo modo falocéntrico. De haber sido mujer me preguntarían si yo era la

madre. Por lo regular respondo en los mismos términos, señalando que para que nazca un nuevo medicamento es necesaria una madre y a menudo también una partera o un tocólogo. Primero la química orgánica debe producir la sustancia. El biólogo debe descubrir sus efectos en animales. Sólo entonces es cuando el clínico la administra a los humanos. Yo dirigí el pequeño equipo de Syntex, en México D. F., que sintetizó por primera vez un anticonceptivo oral a base de esteroides, el 15 de octubre de 1951. Gregory Pincus, de la Fundación Worcester de Biología Experimental de Shrewbury, Massachusetts, dirigió el grupo de biólogos que emitió el primer informe sobre las propiedades de estos esteroides como inhibidores de la ovulación en los animales. John Rock, ginecólogo de Harvard, y sus colegas ejecutaron los estudios clínicos que demostraron la eficacia del anticonceptivo en seres humanos. Si yo soy el padre, Pincus debe ser la madre, ¿o es al revés? Cuando menos, no hay duda del papel que John Rock representó en el nacimiento.

Fecundación *in vitro*

Al igual que hay mujeres que desean evitar el riesgo de que una relación sexual tenga como consecuencia un embarazo, hay otras que quieren tener hijos, pero encuentran problemas. La fecundación *in vitro* (término latino que significa «en cristal») ha logrado ayudar a estas mujeres. Se trata de una técnica que se utiliza en casos de infertilidad, y que se benefició de avances anteriores, entre los que sobresale —dejando al margen contribuciones anteriores de Pincus, John Rock, Miriam Menkin y Ming Chang— la difusión en la década de 1960, por parte del ginecólogo y obstetra inglés Patrick Christopher Steptoe (1913-1988), de la laparoscopia, técnica que había aprendido del ginecólogo francés A. C. Palmer (1904-1985), que permite visualizar mediante un instrumento óptico los órganos reproductores de la mujer; con ella, el propio Palmer en 1961 y, posteriormente, en 1968 Robert Edwards (1925-2013) y Steptoe obtuvieron en Cambridge (Inglaterra) óvulos humanos destinados a realizar investigaciones dirigidas específicamente a la fertilización

in vitro.

El procedimiento consiste en fecundar dentro de una placa de cultivo (placa Petri) —esto es, fuera del cuerpo de la madre— óvulos procedentes de una mujer con espermatozoides de un hombre. Una vez fecundado el óvulo, éste se transfiere al útero, procediendo entonces el embarazo de manera normal. El primer *bebé probeta*, como fueron llamados los frutos de esta técnica, nació el 25 de julio de 1978 en Oldham (Inglaterra): fue una niña, Louise Joy Brown, que creció sin problemas (a los veintiocho años tuvo un hijo de forma natural). Pronto la fecundación *in vitro* pasó a ser una técnica ampliamente utilizada y con alto porcentaje de éxito (40-60 %). A fecha de hoy, más de ocho millones da personas han nacido gracias a esta técnica, que ha dado lugar a un nuevo campo de la medicina.

Clonación animal: Ian Wilmut y la oveja *Dolly*

Otro de los grandes avances biomédicos de la última década del siglo xx fue la clonación. Y ahí un nombre propio destaca por encima de todos, al menos en lo que a su responsabilidad por haber pasado de las ideas a los hechos se refiere: el embriólogo Ian Wilmut.

Nacido en 1944, en Hampton Lucey (Inglaterra), Wilmut estudió en la Universidad de Nottingham y se doctoró en la Universidad de Cambridge en 1971 con trabajos de ingeniería genética animal. En 1974 se unió a la Estación de Investigación de Reproducción Animal de Escocia, conocida posteriormente como Instituto Roslin.

Aunque, como se verá, por entonces ya había obtenido resultados muy importantes, el salto a la fama de Wilmut se produjo en 1997, más concretamente el 27 de febrero, el día en que la revista *Nature* publicaba un artículo que había llegado a su redacción el 25 de noviembre de 1996. Se titulaba: «Descendencia viable derivada de células fetales y adultas de mamífero», y estaba firmado por Wilmut, el líder del grupo, A. E. Schniecke, J. McWhir, A. J. Kind y Keith H.

S. Campbell, este último junto a Wilmut los principales responsables del grupo.[13] No se trataba de un artículo cualquiera, uno más de los miles que constantemente irrumpen en la literatura científica, sino uno en el que se anunciaba que se había conseguido traspasar una frontera muy especial: la reproducción de un mamífero, una oveja —*Dolly*, nacida en julio de 1996—, transfiriendo la carga genética (el ADN, los cromosomas) del núcleo de una célula de una glándula mamaria (es decir, una célula somática, no germinal) de una oveja adulta a un óvulo no fecundado y enucleado. Se había, en suma, *clonado* un mamífero.

Es cierto que *Dolly* no fue el primer clon de un mamífero; estrictamente, los gemelos son clones, pero lo son de un tipo muy diferente; en su caso se trata de una clonación natural, y más absoluta, por cierto, ya que al surgir de una escisión embrionaria, poseen no sólo idéntico ADN sino también el mismo citoplasma (la sustancia, recordemos, que rodea al núcleo, en donde se encuentra el ADN), mientras que clones como *Dolly* sólo tienen el mismo ADN que la célula que aporta la carga genética. En la medida en que el ADN no opera aislado, sino que se halla en constante «diálogo» con su entorno citoplasmático, *Dolly* no es, por tanto, un verdadero clon de la oveja original, sino simplemente un clon del ADN, o «clon genómico».

Con anterioridad, en agosto de 1995, el grupo de investigación que *creó*, porque de una creación se trata, *Dolly* había producido dos ovejas clónicas de raza Welsh Mountain —*Megan* y *Morag*—, la diferencia con *Dolly* es que procedían de células que, recogidas de embriones de nueve días, fueron cultivadas, diferenciándose en el cultivo: habían sido clonadas a partir de células embrionarias, no de células adultas como en el caso de *Dolly*. Después de *Megan*, *Morag* y *Dolly*, los investigadores del Instituto Roslin continuaron «apretando la tuerca de la creación», dando una vuelta más, una vuelta que mostraba con claridad lo que vendría en el futuro: en 1997 nacía otra oveja, *Polly*, clonada a partir de células cultivadas y transformadas genéticamente (se les añadió un gen humano durante el

proceso).

Una vez que se abren las puertas de un nuevo mundo científico, éste será —salvo que los poderes públicos introduzcan restricciones legales— visitado, explorado, utilizado, e incluso, si es realmente atractivo y fecundo, expoliado. Así es la ciencia, que nadie se engañe. Y así comenzó a ocurrir con la clonación. Un momento especialmente significativo en este sentido tuvo lugar cuando el 25 de noviembre de 2001 la empresa estadounidense de investigación genética, Advanced Cell Technology (ACT), anunció en una revista *on-line* (*e-biomed: The Journal of Regenerative Medicine*) que había clonado un embrión humano con una técnica similar a la empleada con *Dolly*. La investigación, se añadía, no tenía por objetivo la duplicación de un humano, sino la obtención de células madre, el nuevo El Dorado de la investigación biomédica, las células que poseen la capacidad de convertirse en todo tipo de tejidos de órganos, lo que las hace especialmente susceptibles de ser utilizadas en el tratamiento de muchas enfermedades.[14] «Las entidades que estamos creando», manifestaba Michael West, el fundador de ACT, «no son individuos, ni científica ni biológicamente. Es sólo vida celular, no una vida humana.»

Como era de esperar, la noticia fue al día siguiente (26 de noviembre) portada de los periódicos de todo el mundo. En España, *El País* titulaba, en primera página, aunque sin demasiado espacio (en páginas interiores le dedicaba dos páginas completas): «Una empresa de EE. UU. clona por primera vez un embrión humano». Por su parte, el *ABC* dedicaba toda su portada al hecho, bajo el titular: «Polémica por la obtención del primer embrión humano clónico». En el interior, incluía un breve editorial que merece la pena reproducir:[15]

> La historia de la ciencia vivió ayer un nuevo y trascendental capítulo al anunciar un laboratorio estadounidense, Advanced Cell Technologies, la obtención del primer embrión humano clónico. El debate que sostiene la comunidad científica en los últimos años acerca de la clonación alcanza ahora una nueva

dimensión. Ya no se trata de una posibilidad ni se habla de ciencia ficción: la clonación humana es ya un hecho, y como tal debe ser abordada.

Los responsables del experimento se han apresurado a explicar que la finalidad de sus trabajos no es la clonación de seres humanos sino el tratamiento de enfermedades. No es éste un extremo sobre el que se discuta. El rechazo a la clonación humana es unánime. El debate tiene otra orientación. La lucha contra enfermedades hoy por hoy incurables como la diabetes, el alzheimer o el huntington dependen en buena manera de las investigaciones sobre células embrionarias, y de hecho es el único hilo bajo el que algunos investigadores sostienen la justificación de sus trabajos. Es evidente, pues, que las posibilidades de la clonación serían extraordinarias en este sentido, pero los riesgos desde el punto de vista ético y para la dignidad humana son también excepcionales. Es preciso que la propia comunidad científica y los Gobiernos extremen el control sobre estos experimentos y marquen con absoluta claridad sus lindes, para que no puedan cometerse tropelías incorregibles e irremediables en nombre de la ciencia.

Las reacciones proliferaron: la Casa Blanca recordó su oposición a la clonación humana, aunque los demócratas reconocieron estar «algo desconcertados»;16 el Vaticano expresó su condena a toda clonación, señalando, no obstante, que le faltaban datos sobre el experimento. «Próxima meta: clonación de seres humanos», titulaba el periodista (con un doctorado en biología molecular) de *El País* Javier Sampedro su extenso informe publicado el domingo 7 de diciembre.17

Todo esto podría sonar, simplemente, aunque también nada más y nada menos, a opiniones, ideas, convicciones, ideologías, prejuicios, esperanzas o temores de seres humanos, individuales o agrupados en colectivos. Sin duda que de todo eso había y hay, pero había y hay algo más: negocios, esto es, promesa de dinero y poder. ACT no era sino una entre varias compañías (como Aastrom Biosciences, Geron Corporation, Layton BioScience, NeuralSTEM Biopharmaceuticals, Neuronys Inc., Nexell Therapeutics Inc., Osiris Terapheutics, ReNeuron, Stem Cell Sciencies o StemCells Inc., además, claro, de ACT) que se

disputan un mercado futuro que preveían extraordinario. De hecho, ACT no fue la primera en conseguir un logro importante: en 1998, James Thomson, de la Universidad de Wisconsin, logró aislar por primera vez células madre de un embrión humano y cultivarlas para dar forma a distintos linajes celulares. Ahora bien, Thomson había logrado todo esto ayudado por Thomas Okarma, el director de Geron Corporation, una compañía de California (en la que había trabajado West antes de fundar ACT), que aportó todos los fondos que necesitaba. A cambio, Geron obtuvo los derechos comerciales de la correspondiente patente, que en este caso pertenecía a la Universidad de Wisconsin.

«Patentes» —el derecho a controlar las aplicaciones de un descubrimiento o invención— he aquí otra de las palabras clave de este mundo científico, o, mejor, tecnocientífico y socioeconómico. Antes incluso de su anuncio de noviembre, en mayo de 2001, ACT consiguió una patente para una técnica aplicable en mamíferos no humanos, que Michael West se esforzaba en noviembre a argumentar también concedía a su empresa los derechos exclusivos sobre los embriones clónicos obtenidos para aislar las células madre embrionarias que pueden formar todo tipo de tejidos.

Un detalle no irrelevante es que Geron estableció un acuerdo con una empresa llamada PPL Therapeutics, corporación que fue la que financió en el Instituto Roslin el nacimiento de *Dolly*. De hecho, Roslin y PPL mantenían relaciones muy estrechas: estaban asentadas en el mismo lugar, aunque eran instituciones separadas (Roslin no poseía intereses financieros en PPL). Esto quiere decir que el propio Ian Wilmut mantenía algún tipo de relación con el mundo de las empresas biotecnológicas, aunque no fuera financieramente tan directo personalmente como muchos otros de sus colegas en el campo. Digo que éste es un detalle «no irrelevante», porque muestra lo difícil que es mantener una independencia completa en estos dominios, en los que la búsqueda de conocimiento se encuentra íntimamente unida con el de la aplicación lo más rápida y

económicamente beneficiosa posible. Hay, además, que tener en cuenta lo confusas que son las fronteras en estos mundos tecnocientíficos. Wilmut, por ejemplo, se ha manifestado repetidas en veces en contra de la clonación humana. En este sentido, él y Keith Campbell aprovecharon el ya citado libro que escribieron con Tudge para manifestar:18 «Los dos consideramos la clonación humana como una desviación más bien repelente: superflua como procedimiento médico y, en general, repugnante». Magnífico —o no—, pero ¿qué valor tenía semejante manifestación, no era algo así como un canto al Sol? Ellos, más que ningún otro, eran los responsables de haber abierto la caja de los truenos. ¿Podían ser tan ingenuos unos excelentes profesionales de la ciencia, con, además, vínculos con el mundo empresarial, para no saber cómo funciona la disciplina a la que se dedican, la ciencia? Claro que no eran tan ingenuos; de hecho, inmediatamente después de la anterior manifestación, añadían, en una declaración que a más de alguno le recordará situaciones muy parecidas a las que vivieron aquellos que desarrollaron la energía nuclear mediante la fisión del uranio: «Mas, aunque hemos patentado ciertos aspectos de la técnica, eso no nos da un derecho legal a decir al resto del mundo cómo habría que desarrollar la tecnología. La clonación humana figura ahora en el espectro de posibilidades futuras y nosotros, más que nadie, contribuimos a colocarla ahí. Desearíamos que no hubiera sido así, pero ahí está y seguirá estando tanto tiempo como dure la civilización».

Células madre

Las células madre que he estado mencionando ofrecen efectivamente muchas y posibilidades beneficiosas, en, por ejemplo, medicina regenerativa, inmunoterapia y terapia génica. De hecho, no se tardó demasiado en obtener resultados prometedores con animales para tratar con ellas enfermedades hematológicas, la diabetes, el párkinson, la destrucción neuronal e infartos.

Aunque se pueden encontrar otros antecedentes, se considera con frecuencia que fueron los canadienses Ernest A. McCulloch (1926-2011) y James E. Till (n. 1931), quienes mientras trabajaban en el Instituto del Cáncer de Ontario y en el Hospital Princesa Margarita de Toronto, demostraron la existencia de las células madre y las caracterizaron. En 1961 publicaron un artículo en esa dirección y en 1963 (este junto a Andrew J. Becker) definieron la propiedad clave de las células madre: su capacidad de diferenciarse en células más especializadas.[19] Comenzaron dando dosis letales de radiación a ratones, e inyectándoles después células de médula ósea. Encontraron que cuantas más células les suministraban, mayores probabilidades tenían de sobrevivir. Al tiempo que se preguntaban el porqué de este hecho, descubrieron que algunos ratones tenían extraños bultos en el bazo. Averiguaron que se trataba de grupos de células que, de alguna manera, habían aparecido como consecuencia de las células de médula ósea inyectadas. En otras palabras, las células de médula ósea daban origen a otros tipos de células, eran, por consiguiente, lo que se denominó «células madre». Advirtiendo esto, en lugar de centrar sus investigaciones en la naturaleza de esas células, se dedicaron a estudiar lo que podían hacer.

Un momento importante en la historia de las células madre tuvo lugar en 1994, cuando se aislaron a partir de un blastocisto (embrión de entre una y dos semanas no implantado en el útero materno) procedente de fecundación *in vitro*. No fue, sin embargo, hasta finales de 1998 cuando un grupo de la Universidad de Wisconsin (EE. UU.) consiguió el primer cultivo (un conjunto de células que se dividen continuamente) en laboratorio de células madre embrionarias humanas a partir de blastocistos. Posteriormente se encontraron otros métodos de obtención de células madre, entre ellos uno a partir de cordón umbilical.

Capítulo 14

LA REVOLUCIÓN DEL ADN

Junto a las revoluciones de la física relativista y cuántica, el siglo XX asistió al nacimiento de otra gran revolución, en este caso protagonizada por el descubrimiento en 1953 de la estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN), la molécula básica de la herencia. El presente capítulo trata de cómo se originó esa revolución y de las consecuencias científicas, sociales y económicas que acarreó, que iniciadas durante el último tercio del siglo XX, se han adentrado con firmeza en el XXI.

EL CAMINO HACIA EL ADN: GARROD Y LA ALCAPTONURIA

En el capítulo 3 mencioné, aunque muy brevemente a Mendel, de cómo los experimentos que realizó con guisantes abrieron la senda hacia una teoría de la herencia (de la que carecía Darwin, a pesar de que sus investigaciones y propuestas versaban sobre los cambios que se producen en generaciones sucesivas). De los trabajos de Mendel se podía deducir que existían «unidades discretas» responsables de alguna manera de la transmisión de caracteres biológicos de una generación a la siguiente. Se trataba, cierto es, de vida vegetal, pero tan vida es ésta como la animal y era natural preguntarse si los resultados del monje agustino podían extrapolarse a animales, incluyendo entre éstos a los humanos. Un médico inglés, Archibald Edward Garrod (1857-1936) fue el primero en avanzar en la respuesta a estas preguntas, relacionando un desorden humano con las leyes mendelianas de la herencia.

Como en muchos otros casos de médicos que han dejado su huella en la historia de la ciencia, Garrod logró

sus mayores éxitos no ocupando una cátedra universitaria, en la que compatibilizase investigación y docencia, sino desde la práctica de la medicina, como médico del Hospital de Niños Enfermos y del St. Bartholomew, ambos de Londres. En 1896, Garrod se interesó por pacientes con un raro pero poco dañino trastorno conocido como alcaptonuria, cuya manifestación más llamativa es el oscurecimiento de la orina tras su exposición al aire. Después de una serie de estudios, concluyó que el trastorno era de naturaleza congénita, esto es, que se heredaba de los progenitores, no siendo el resultado, como hasta entonces se pensaba, de una infección bacterial. Publicó sus resultados en varios artículos, el más conocido y ambicioso de ellos en 1902 en una famosa revista médica, *Lancet*: «La incidencia de la alcaptonuria: un estudio de individualidad química», un título que ya ofrece indicios de que su autor manejaba ideas en las que aparecía como responsable de la enfermedad que había estudiado algún tipo de «carácter individual» —«individualidad química» lo denominaba él— que podía recordar a los «conjuntos de determinantes hereditarios» mendelianos.[1] De hecho, cuando se lee este artículo es difícil para el ojo informado no relacionar los resultados que había obtenido Mendel con sus célebres guisantes con las observaciones de Garrod referentes a personas pertenecientes a familias en las que la alcaptonuria aparecía una generación tras otra, con patrones de dominancia o recesión en algunos de sus miembros. De hecho, todo indica que Garrod estaba pensando en términos que más tarde se denominarían «genéticos»; que estaba, en realidad, *creando* ese pensamiento. Ilustrativo es el siguiente pasaje de su artículo de 1902:

> Se ha discutido mucho la cuestión de la tendencia de niños fruto de matrimonios consanguíneos a mostrar ciertas anormalidades o a desarrollar ciertas enfermedades, pero pocas veces tales discusiones se han llevado a cabo con un estricto espíritu científico. Aquellos que han escrito sobre el tema demasiado a menudo han buscado demostrar, por un lado, los

> perjudiciales resultados de tales uniones, o, por el contrario, que estas no implican ningún peligro, cuestiones que aquí no nos interesan en absoluto. No existe ninguna razón para suponer que la consanguinidad entre padre y madre pueda producir en su descendencia una condición como la de la alcaptonuria, y debemos más bien buscar una explicación de ella en alguna peculiaridad de los progenitores, que puede permanecer latente durante generaciones, pero que tiene las mayores probabilidades de manifestarse en la descendencia de la unión de dos miembros de una familia en la que es transmitida.

«Existen», añadía en otro pasaje, «buenas razones para pensar que la alcaptonuria no es la manifestación de una enfermedad sino que más bien tiene la naturaleza de un curso alternativo del metabolismo, inocuo, habitualmente congénito y que dura toda la vida.»

Garrod encontró un magnífico punto de apoyo en las ideas de otro genetista inglés: William Bateson (1861-1926). Tras licenciarse en la Universidad de Cambridge en 1882, Bateson amplió estudios en Estados Unidos, donde se interesó por los problemas relacionados con la evolución de las especies, decidiendo, antes incluso de que se redescubriese el trabajo de Mendel, que éstas no evolucionan de manera continua, sino «a saltos». Instalado de nuevo en su patria como profesor en Cambridge, Bateson supo de los trabajos que Garrod estaba acometiendo y los interpretó con la ayuda de las ideas de la genética mendeliana, esto es, en base a caracteres dominantes y recesivos, e hizo públicas sus ideas en un libro que publicó en 1902: *Mendel's Principles of Heredity. A Defence* (*Principios de herencia de Mendel. Una defensa*).2 Fue Bateson, de hecho, quien acuño la expresión *genetics* («genética»), término que utilizó por primera vez en una carta que envió el 18 de abril de 1905 al profesor de la Universidad de Cambridge Adam Sedgwick. Dada la importancia de la expresión, merece la pena reproducir el texto de la misiva:3

> Querido Sedgwick:
>
> Si el Fondo Quick se utilizase para establecer una cátedra

> relacionada con la Herencia y la Variación, el mejor título sería, pienso, «La Cátedra Quick para el estudio de la Herencia». Ninguna palabra de las que se utilizan comúnmente tiene este significado. Se necesita desesperadamente tal palabra, y si fuera deseable acuñar una, podría ser «GENÉTICA». Semejante expresión incluye claramente Variación y los fenómenos relacionados...

Para el público, la primera vez que apareció impresa la palabra *genetics* fue en la conferencia inaugural que como presidente de la Royal Horticultural Society, Bateson pronunció en 1906, una conferencia internacional (fue la tercera) sobre cuestiones que tras ella serían denominadas «genéticas»:[4]

> Al igual que otros nuevos útiles, nos hemos visto obligados a adoptar una terminología, que, a pesar de que puede asustar algo al novicio, es tan necesaria para los profesionales que debe ser aceptada. Pero aunque estos atributos de la actividad científica son evidentes, la ciencia en sí es innominada, y únicamente podemos describir nuestros objetivos mediante engorrosas y a menudo equívocas perífrasis. Para enfrentarse a esta dificultad, sugiero que se considere en este Congreso el término *Genética* [*Genetics*], que indica con suficiencia que nuestros esfuerzos están dirigidos a investigar los fenómenos de la herencia y la variación; en otras palabras, a la fisiología del *Descent* [probablemente se refería al libro de Darwin, *The Descent of Man*, 1871], lo que implica tratar de problemas teóricos de la evolución y de la sistemática, al igual que de la aplicación a problemas prácticos de los criadores, ya sean de animales o de plantas.[5]

La influencia de Bateson en Garrod es patente en el artículo que éste publicó en 1902 (es decir, inmediatamente después de la aparición del libro de Bateson). «Ha sido señalado recientemente por Bateson», manifestaba allí Garrod, «que la ley de la herencia descubierta por Mendel ofrece una explicación razonable de la alcaptonuria.» Y añadía más adelante: «Sea o no sea cierta la explicación mendeliana, existen pocos motivos para dudar de que las peculiaridades de la incidencia de la alcaptonuria... se

explican mejor suponiendo que... es necesaria para su producción una peculiaridad de los gametos [células sexuales maduras, haploides, capaces de unirse a las del sexo contrario para formar el cigoto] de *ambos* progenitores». Esa «peculiaridad de los gametos» terminó siendo denominada «genes», término que acuñó en 1909, en su libro *Elemente der exakten Erblichkeitslehre* (*Elementos de una doctrina exacta de la herencia*)6 el danés Wilhelm L. Johannsen (1857-1927), catedrático de Botánica en la Universidad de Copenhague, para denominar unas «partículas» hipotéticas que suponía determinaban la herencia y que estarían situadas en los largos cuerpos filamentosos que Walther Fleming —provisto de mejores microscopios que los que habían utilizado sus predecesores— observó en 1879 durante sus estudios de la meiosis (división) celular, y para los que Heinrich Waldeyer acuñó en 1888 el término «cromosoma».7 En aquel libro, por cierto, Johannsen también introdujo los términos «genotipo» y «fenotipo»: «genotipo» —tal y como lo entendemos en la actualidad—, la constitución genética contenida en los cromosomas de un individuo, referida a todos o a parte de los caracteres diferenciales del mismo, y «fenotipo», la manifestación externa de un genotipo en un ambiente determinado.

A pesar de ser conocido y respetado en la comunidad médica, reconocimiento que le llevó a ser elegido miembro de la exclusiva Royal Society y catedrático de Medicina en la Universidad de Oxford, los trabajos de Garrod no suscitaron demasiado interés entre sus contemporáneos, ni resultaron demasiado eficaces sus recomendaciones de estudiar las enfermedades en términos bioquímicos. Los genetistas estaban ocupados con organismos más simples que los seres humanos que él estudiaba, la bioquímica se encontraba todavía en su infancia y muchas de las enfermedades que analizaba Garrod eran tan poco frecuentes que los médicos rara vez se encontraban con ellas en sus prácticas clínicas. Sin embargo, en la década de 1950, cuando se empezó a comprender el papel directo que

los genes desempeñan en la producción de proteínas concretas, Garrod comenzó a adquirir la reputación de que ahora goza, como el «padre de la genética química».

Merece la pena resaltar estos últimos puntos: son muy diversos los elementos que intervienen en el avance científico, y si se quiere entender aquello que sucedió, y el ritmo al que se produjo, es imprescindible tomar en consideración tanto los aspectos «institucionales» como los puramente «científicos». La situación institucional de la bioquímica, disciplina que tanto se desarrollaría más tarde y sin la cual es difícil pensar cómo hubiese sido posible construir el universo cognitivo que condujo a la revolución biomédica que surgiría durante el último tercio del siglo XX, es uno de los elementos que intervinieron en la historia de la «revolución del ADN». Acaso hubiera sido diferente el desarrollo de los acontecimientos si, cuando Garrod realizó sus investigaciones, la bioquímica hubiese sido una disciplina consolidada institucionalmente, pero no lo era, y tardaría todavía en serlo. Ilustrativo en este sentido es lo que el bioquímico Hans Krebs, al que ya nos encontramos en el capítulo 10, escribió en sus memorias:[8]

> En 1929 la bioquímica no era ciertamente una profesión en el sentido de que uno pudiese esperar vivir de ella. No existían entonces en Alemania más que una docena de puestos de cierto nivel para bioquímicos. En Inglaterra existían cátedras de bioquímica en Liverpool, Cambridge y Oxford al igual que en unos pocos *colleges* de Londres; asociados a ellas había un número muy limitado de puestos para jóvenes. La industria, incluso en campos biológicamente orientados como son las industrias alimenticia y farmacéutica, preferían en aquella época emplear a químicos antes que a bioquímicos.

Pronto, sin embargo, la bioquímica mostró su poder, gracias a las investigaciones de, entre otros, el propio Krebs o de su maestro, Otto Warburg (1883-1970), director del Instituto Káiser Guillermo de Fisiología Celular de Berlín, responsable del descubrimiento de, por ejemplo, el mecanismo de la oxidación celular. La bioquímica desempeñó un papel central en el estudio de los procesos

metabólicos, en la purificación, aislamiento y caracterización de enzimas, en la cinética de las reacciones que éstas catalizan, y en su integración en efectos fisiológicos, como la contracción muscular o el crecimiento de tejidos; en otras palabras, en el establecimiento, a mediados de la década de la década de 1930, de lo que terminó denominándose «metabolismo intermediario».

Thomas Morgan, moscas, mutaciones y genes

Más influyente que Garrod y sus trabajos, tanto para el desarrollo como para la institucionalización de la genética, fueron las investigaciones de Thomas Hunt Morgan (1866-1945), un estadounidense que estudió en la Universidad de Kentucky (obtuvo allí su licenciatura en 1886), se doctoró en la Universidad Johns Hopkins de Baltimore (1890) y que se distinguió en el estudio de las mutaciones, el proceso responsable de los cambios evolutivos, contrarrestando la estabilidad de los mecanismos hereditarios básicos.[9] Ahora bien, cuando Morgan llegó en 1904 a la Universidad de Columbia, en Nueva York, como catedrático de Zoología Experimental, era muy escéptico con respecto al mendelismo, esto es, a una teoría de la herencia que utilizase unidades discretas. Su cambio de actitud se debió, básicamente, a las investigaciones que emprendió con *Drosophila melanogaster* (inicialmente denominada *Drosophila ampelophila*), la mosca de la fruta (o del vinagre).

Inicialmente había intentado estudiar la transmisión de caracteres en ratones y ratas, pero no tuvo éxito. Sólo progresó tras elegir como protagonista de sus investigaciones a la humilde *Drosophila*, que podía producir por millares en simples botellas de leche. Como ventajas adicionales estaba el que el ciclo vital completo de estos insectos que únicamente poseen cuatro cromosomas, sólo dura diez días; además, los costes de manutención se reducen a unos pocos plátanos. Dadas estas características pudo realizar sus investigaciones genéticas en una pequeña

habitación de 4 × 6 metros, conocida como el «Cuarto de las moscas».

A partir de 1907, Morgan, primero solo y luego con colaboradores (Alfred Henry Sturtevant, Calvin Blackman Bridges y Hermann Joseph Muller), intentó estimular mutaciones en las moscas mediante calor, rayos X y sustancias químicas.[10] Con un equipo ridículamente simple, el «Cuarto de las moscas» proporcionó poco a poco nuevos cimientos a la biología evolutiva.[11] Aun cuando en sus cultivos no se produjeron mutaciones a nivel de especie, en 1910 encontró que en una de sus botellas apareció repentinamente una curiosa mosca macho de ojos blancos. Denominó «mutación» al cambio y cruzó al macho mutante con una hembra normal (de ojos rojos). Todos los descendientes mostraron el rasgo normal, esto es, los ojos rojos; sin embargo cuando cruzó algunos miembros de la primera generación entre sí, descubrió que el carácter de los ojos blancos aparecía de nuevo, aunque sólo en los machos, nunca en las hembras. Por otra parte, si se cruzaba a un macho de ojos blancos con hembras de la primera generación, la mitad de los descendientes machos y la mitad de las descendientes hembras tenían ojos blancos.[12] Todo muy parecido a lo que había hecho Mendel con los guisantes, así que no es sorprendente que Morgan encontrase que estos resultados se podían explicar sin demasiada dificultad desde la teoría mendeliano-cromosómica. Éste fue el hecho que estimuló su transformación de escéptico mendeliano en partidario suyo.

No fue la menor de las aportaciones del equipo de Morgan el que fuera también capaz de encontrar marcadores cromosómicos que sirvieron para establecer una primera cartografía de los cromosomas. En 1911, uno de los primeros estudiantes de Morgan, Alfred Henry Sturtevant (1891-1970) introdujo el primer mapa cromosómico, que finalmente publicó como parte de su tesis doctoral de 1913; en él se mostraban las posiciones relativas de seis genes ligados al sexo.[13] Con ello se pudo defender plausiblemente la tesis de que los genes se

encuentran ordenados linealmente en los cromosomas y que experimentan cambios repentinos permanentes, o mutaciones, que producen modificaciones en un rasgo concreto determinado por el gen, tal como el cambio del color rojo de un ojo al blanco.

Visto retrospectivamente, inmersos como estamos en una época en la que los genes son protagonistas indiscutidos de la biología contemporánea, el valor de los hallazgos de Morgan y su equipo adquieren dimensiones casi gigantescas.[14] Basta una lectura superficial de su libro de 1926, todo un clásico de la ciencia contemporánea, *The Theory of the Gene* (*La teoría del gen*), en el que sintetizó las principales ideas a las que había llegado tras décadas de investigaciones, para observar con claridad la importancia de su obra, al igual que cuánto había cambiado la genética desde los tiempos de Mendel, y para comprender hasta qué punto manejaba ideas que se instalarían definitivamente en el *corpus* de la biología. «Tenemos ahora», escribía, «la posibilidad de formular la teoría de los genes».[15] Y como primer punto de esa teoría incluía el siguiente: «Los caracteres del individuo son referibles a partes de elementos —genes— en la materia germinal, mantenidos juntos en un número de grupos enlazados».

Una cuestión de especial interés era la de cuál es la naturaleza de los genes. Morgan se preguntaba:

> ¿Cómo puede ser, que tratándose de moléculas orgánicas, se conserven [los genes] invariables, con plena estabilidad? Tal estabilidad significa que el gen es individualizado como una molécula viva, que se mantiene prácticamente invariable a pesar de su metabolismo, o que tiende a evolucionar según un modo definido... Hace unos años me propuse calcular el tamaño de los genes con la esperanza de que se consiguieran resultados útiles para avanzar en estos problemas. No contamos, sin embargo, con medidas suficientemente exactas para poder evitar razonamientos que no sean nada más que especulativos. Parece, sin embargo, que el volumen del gen es del orden de las mayores moléculas orgánicas. Podría tratarse, en efecto, de una gran molécula, pero es más verosímil pensar que el gen sea una estructura, un conjunto de moléculas orgánicas, relacionadas,

> por vínculos químicos, por la pura afinidad —como ocurre en el caso de una combinación química— o por otras fuerzas organizadoras.

Y añadía: «Es difícil, con todo esto, evitar la fascinante idea de que el gen sea constante precisamente porque constituye una entidad química organizada». Unas palabras proféticas cuando las valoramos conociendo el trabajo de Watson y Crick de 1953.

De esta manera el desarrollo de la genética fue abriendo el camino a grandes avances en la comprensión de la vida, hasta tal punto que si del siglo XIX se puede decir, en lo que se refiere a las ciencias biomédicas, que fue el siglo de la fisiología, una parte importante del XX fue el de la genética. En el plano teórico, fue entonces cuando se obtuvo una base firme para entender la evolución: al ser ésta la fuente principal de novedad biológica, la mutación de genes se erigía en el motor que la dirigía. Ahora bien, durante la primera mitad del novecientos, mientras la genética se instalaba en la cumbre de las ciencias biológicas, la naturaleza física del concepto central, el gen, continuó envuelta en misterio. Todavía en 1950, en una conferencia titulada «El desarrollo de la teoría de los genes», Hermann J. Muller (1890-1967), uno, como hemos visto, de los colaboradores de Morgan, que se había convertido en uno de los más respetados genéticos y defensores de la teoría de los genes, declaraba que nadie sabía de qué estaban hechos los genes, cómo podían ser capaces de imponer su carácter sobre los organismos que los transportan, o cómo se reproducían fielmente en la división celular.[16]

El ADN entra en escena: Oswald Avery (1944)

Aunque en 1950 Muller manifestaba que desconocía saber de qué estaban hechos los genes, por entonces existía un resultado que hubiera permitido decir algo al respecto, más estrictamente sobre los cromosomas. El responsable de

ello era un médico que nació en Nova Scotia, Canadá: Oswald T. Avery (1877-1955).

Aunque canadiense de nacimiento, a Avery se le debe considerar en realidad estadounidense, ya que su familia se trasladó a Nueva York el mismo año en que nació. En Estados Unidos transcurriría su vida, que en el plano de la investigación científica se centró sobre todo en el Hospital del Instituto Rockefeller, en la ciudad de Nueva York, en donde permaneció desde 1913 hasta 1948.

El trabajo que aquí interesa lo llevó a cabo Avery con dos colaboradores suyos: Colin MacLeod (1909-1972) y Maclyn McCarty (1911-2005). En 1944, en un artículo titulado «Estudios sobre la naturaleza química de la sustancia que induce transformación de tipo neumococo. Inducción de transformación por una fracción de ácido desoxirribonucleico aislada del neumococo tipo III», afirmaron que los genes se encuentran sumergidos en ácido desoxirribonucleico (ADN).17

El ADN era una sustancia química que había sido descubierta en la segunda mitad del siglo XIX por el bioquímico suizo Friedrich Miescher (1844-1895) mientras trabajaba en Tubinga (Alemania). En 1869, utilizando unos vendajes empapados de pus que le había suministrado un hospital, Miescher aisló una sustancia a la que llamó «nucleína». Visto retrospectivamente, el hecho fundamental en su descubrimiento es que el pus se compone de glóbulos blancos, que, a diferencia de los rojos, poseen núcleo y, por tanto, cromosomas, que están formados por ADN; esto es, sin saberlo Miescher disponía de una fuente especialmente rica en cromosomas/ADN. De hecho, más tarde él mismo se dio cuenta de que su «nucleína», que en la década de 1930 pasaría ya a ser el «ácido desoxirribonucleico», estaba en los cromosomas.

Volvamos ahora al artículo de Avery, MacLeod y McCarty. «Desde hace tiempo», escribían en las líneas iniciales, «los biólogos intentan, utilizando medios químicos, inducir en organismos superiores cambios predecibles y específicos que, a partir de ese momento,

pudieran transmitirse en serie como caracteres hereditarios.» Con tal fin habían elegido microorganismos de un tipo especial, neumococos, en los que se podían estudiar fácilmente alteraciones hereditarias inducidas experimentalmente, concluyendo que la «fracción activa», o el «principio transformador» —los términos que ellos utilizaban (esto es, los elementos celulares responsables de las transmisiones hereditarias, los cromosomas)— «consiste principalmente, si no exclusivamente, de una forma viscosa, sumamente polimerizada, de ácido desoxirribonucleico».

Retornando a lo que Muller había manifestado en 1950, ¿por qué este científico, tan distinguido y sin duda informado, y al igual que él prácticamente toda la comunidad de biólogos que trabajaban en genética, ignoraron el trabajo de Avery y sus colaboradores? De hecho, la expresión «ignoraron» no es la adecuada, ya que el artículo de Avery, MacLeod y McCarty constituyó toda una sensación. Lo que sucedió es que las ideas entonces en vigor acerca de la naturaleza molecular del ADN hacían que fuese muy complicado pensar que esta sustancia química pudiese ser el vehículo de la información hereditaria. Según James Watson:

> El artículo de Avery, MacLeod y McCarty publicado en febrero de 1944 encontró respuestas de distinta índole. Muchos genetistas aceptaron sus conclusiones. Al fin y al cabo, el ADN se hallaba en todos los cromosomas; ¿por qué no habría de ser el material genético? Por el contrario, sin embargo, la mayoría de los bioquímicos dudaban de que el ADN fuera una molécula lo bastante compleja como para actuar de depositario de una cantidad de información biológica tan amplia. Seguían creyendo que se comprobaría que las proteínas constituían la sustancia hereditaria. En principio, como señalaban los bioquímicos con razón, resultaría mucho más fácil codificar un gran conjunto de información compleja utilizando el alfabeto de veinte letras correspondientes a los aminoácidos de las proteínas que el alfabeto de cuatro letras correspondientes a los nucleótidos del ADN.[18]

Las proteínas podían presumir por entonces de una

larga historia. Su nombre (del término griego, *protos*, para «primero») fue inventado en 1839 por el químico holandés Gerardus Johannes Mulder (1802-1880) para designar sustancias albuminosas que consideraba las primeras moléculas de la vida y formadas por un radical que contenía nitrógeno, además de pequeñas cantidades de azufre y fósforo. «Las sustancias orgánicas —escribió en un artículo titulado «Sobre la composición de algunas sustancias animales»— que están presentes en todos los constituyentes del cuerpo animal, y también, como veremos pronto, en el reino de las plantas, pueden ser denominadas *proteínas* de πρωτειος, *primarius*.»[19]

El estudio de las proteínas fue uno de los campos de investigación más complicados de la química orgánica del siglo XIX; no sólo se trataba de compuestos muy frágiles cuando se calentaban, sino que algunas (como el colágeno o la queratina) eran insolubles en el agua, mientras que otras (la albúmina de los huevos o la caseína) sí se disolvían en agua o en soluciones acuosas de ácidos, bases o sales. Sin entrar en la larga y compleja historia de la química de las proteínas, sí diré que un momento importante fue cuando en 1902 Emil Fischer (1852-1919), de Berlín, y Franz Hofmeister (1850-1922), de Estrasburgo, cabezas de dos de las escuelas de química orgánica más importantes e influyentes, que sirvieron de semillero en el establecimiento de esa disciplina, propusieron independientemente, durante la reunión anual de la Sociedad Alemana de Científicos y Médicos, que las proteínas están formadas por aminoácidos unidos entre sí por la condensación del grupo amino (NH_2) de uno de los aminoácidos con el grupo carboxilo (COOH) del otro, formando de esta manera enlaces amino (—CONH —).

Si tenemos en cuenta que finalmente se estableció que existen veinte aminoácidos básicos, que era difícil separar experimentalmente las proteínas del ADN, y que éste sólo está formado por cuatro elementos, podemos comprender fácilmente lo que Watson señalaba en la cita antes mencionada: que era mucho más sencillo pensar que las

proteínas y no el ADN con cuatro nucleótidos eran las responsables de la transmisión de los caracteres hereditarios. Por eso no se dio al artículo de Avery y sus colaboradores la interpretación que más tarde, con justicia, se le asignó.

Hay que señalar, no obstante, que también hubo quienes entendieron lo que implicaba el artículo de Avery, MacLeod y McCarty. Así, el bioquímico Erwin Chargaff, que volverá a aparecer pronto, advirtió lo que significaba la identificación del factor transformador del neumococo con el ADN y se embarcó en un programa de investigación destinado a determinar cuantitativamente la composición de muestras de ADN de diversos organismos biológicos. Y aunque el propio Avery no identificó en su artículo el factor transformador con el material genético del neumococo, su correspondencia privada muestra que vio con claridad las implicaciones de su descubrimiento.

La conexión física del ADN

La historia del descubrimiento de la estructura del ADN no sigue una senda única por la que transitaron —o fueron construyendo— todos aquellos que lo hicieron posible con sus hallazgos; es más un conjunto de caminos —dos especialmente notorios— que en un punto determinado confluyen (aunque en algunos puntos se produjesen intercambios entre caminos) haciendo posible unir las piezas del rompecabezas. En las secciones precedentes me he estado ocupando de uno de esos «caminos» principales, uno en el que la genética ocupaba el lugar central (el trabajo de Avery no formaba parte estrictamente de esa tradición). Ahora es el momento de intentar reconstruir la otra gran trayectoria, en la que las técnicas físicas desempeñaron el papel primordial.[20]

W. L. Bragg y el Laboratorio Cavendish

En el capítulo 6 traté de la difracción de los rayos X y de cómo los Bragg, padre (William Henry) e hijo (William Lawrence), ayudaron al desarrollo de esa técnica. Ahora debo volver a ellos, puesto que la difracción de rayos X constituyó un elemento fundamental en el descubrimiento de la estructura del ADN.

Los Bragg no abandonaron la veta que habían hallado. En 1915, William Henry se trasladó a Londres para ocupar una cátedra en el University College, que compatibilizó a partir de 1923 con la dirección de la Royal Institution. Por su parte, William Lawrence obtuvo una cátedra en Manchester en 1919, que dejó en 1937 para ocupar la dirección del National Physical Laboratory, recordemos, el laboratorio nacional inglés, situado en Teddington, en el que se llevaban a cabo sobre todo investigaciones relacionadas con la metrología.

Antes de que se separasen sus caminos científicos, padre e hijo llegaron a un acuerdo mediante el cual W. H. se ocuparía en lo sucesivo de los compuestos orgánicos y W. L. de los inorgánicos. En el University College de Londres, Bragg padre comenzó a estudiar el naftaleno y el antraceno, cuyas estructuras determinó en 1921, ocupándose sus ayudantes, Alexander Müller y George Shearer, de los hidrocarburos. Cuando pasó a la Royal Institution continuó con este tipo de investigaciones, convirtiendo de hecho a la antigua institución de Humphry Davy y Michael Faraday en un activo e importante centro dedicado a la investigación de la estructura de cristales orgánicos.

En lo que se refiere a Bragg hijo, en Manchester se ocupó primordialmente de investigar la estructura de minerales, en particular de los feldespatos, promocionando también el estudio de la estructura de los metales y la explicación de sus propiedades, un campo de evidente importancia industrial (de hecho, animó a científicos que trabajaban en industrias del área de Manchester a que utilizasen las facilidades de su laboratorio).[21]

El paso de W. L. Bragg por Teddington fue efímero, ya que tras el fallecimiento en 1937 de Ernest Rutherford se le

designó su sucesor en el Laboratorio Cavendish.[22] Pero la elección de Bragg para la dirección del Cavendish no fue aceptada con agrado por algunos físicos británicos que esperaban que las autoridades de la universidad mantuvieran la tradición de Rutherford sobre estudios atómicos, designando a alguien como, por ejemplo, James Chadwick, que había descubierto el neutrón en 1932 mientras trabajaba en el Cavendish. Sin embargo eligieron a Bragg y aunque las investigaciones atómicas no se detuvieron, tuvieron que dejar espacio para los campos que interesaban más al nuevo director, quien tenía la intención de continuar promoviendo el estudio de las estructuras metálicas (de hecho se llevó consigo a algunos de sus colaboradores de Manchester). Bajo la dirección de Bragg, el al principio inhóspito laboratorio de cristalografía del Cavendish fue creciendo, financiado por el Medical Research Council (Consejo de Investigación Médica), hasta convertirse en uno de los centros más importantes del mundo en el estudio de materiales y ya no sólo inorgánicos. De hecho, cuando en 1954 Nevill Mott sucedió a Bragg en la dirección del Laboratorio, se encontró con que la Unidad de Biología Molecular del Cavendish se había desarrollado tanto que era un problema para el resto del laboratorio, que el nuevo director quería que siguiese siendo un centro de investigación en física. Mott logró que la biología molecular se independizase, trasladándose a otro lugar de Cambridge. «No me entristeció que se marcharan», escribió en su autobiografía, «el espacio que dejaron me permitió instalar la microscopia electrónica y desarrollar trabajos en dislocaciones», apartados de la física del estado sólido.[23]

Pero no es éste ni el camino ni los años que me interesan estudiar ahora; de manera que regresemos pues al Cavendish de Bragg y a la biología molecular.

John D. Bernal y Max Perutz: la cristalografía al servicio de la biología

Uno de los investigadores que estaban en el Cavendish

cuando llegó Bragg era Max Perutz (1914-2002), un joven químico austríaco que se había trasladado a Cambridge atraído por la fama de John Desmond Bernal (1901-1971). Como ambos forman parte importante de la «conexión físico-química» del descubrimiento de la estructura del ADN, me ocuparé a continuación de ellos.

Aunque el paso del tiempo casi todo lo borra, para algunos todavía permanece vivo el recuerdo de John D. Bernal; más, seguramente, debido a su pasión por saber, por su compromiso social —que le llevó a la militancia política (en su caso, como en tantos otros de su tiempo, al comunismo)— y por sus escritos, a medio camino entre la historia y el ensayo, que por sus desde luego muy relevantes contribuciones científicas, que se centraron en el campo de la cristalografía. Descendiente de judíos sefarditas españoles, aunque con un padre educado en el catolicismo, Bernal nació en Irlanda, pero fue educado en Inglaterra y obtuvo su educación superior en Cambridge, en donde fue admitido en 1919.[24] Allí estudió matemáticas, física y química, quedando fascinado en sus últimos dos años de estudio por las diferentes clases de grupos espaciales. Inicialmente, se dedicó a estudiar tales distribuciones utilizando el venerable método inventado por William Rowan Hamilton (1805-1865): los cuaterniones. De hecho, llegó a escribir una extensa tesis, que nunca llegó a publicarse titulada *On the Analytic Theory of Point Group Systems* (*Sobre la teoría analítica de sistemas de grupos de puntos*).

En Cambridge, Bernal estuvo bajo la tutela de Arthur Hutchinson (1866-1937), *lecturer* de Mineralogía, quien cuando su discípulo se graduó le recomendó a W. H. Bragg, entonces en Londres. En su carta (de 25 de junio de 1923), Hutchinson señalaba:[25]

> Querido Sir William Bragg:
>
> Me atrevo a escribirle a petición de un pupilo mío, de nombre Bernal... Pienso que se trata de una persona bastante notable; es un tipo de criatura tímida, difidente, retraída, pero un genio en cierto sentido. Asistió a mi curso de Cristalografía Elemental y

> me di cuenta de que estaba interesado y que aprendía rápidamente. No obstante, no me di cuenta (y él nunca lo sugirió) de que había sido tan aplicado que empleó las vacaciones siguientes en desarrollar un método para tratar configuraciones de puntos con la esperanza de que ¡pudiese ser útil en las investigaciones con rayos X! Cuando, en consecuencia, apareció de repente, con el aire de un perro que lleva un conejo a los pies de su amo, y depositó sobre mi mesa un grueso manuscrito mecanografiado, me sorprendió bastante ... y me pareció un notable esfuerzo para un estudiante de tercer año.

Con semejante aval Bernal fue admitido por Bragg, quien le introdujo, en el Laboratorio Davy Faraday de la Royal Institution en las técnicas de la utilización de rayos X para determinar estructuras cristalinas, tema en el que llegaría a ser uno de los líderes de la cristalografía mundial. Pronto, en 1924, fue capaz de determinar la estructura del grafito, problema que le sugirió Bragg.[26]

En 1926, el antiguo tutor de Bernal, Hutchinson, fue nombrado catedrático de Mineralogía en la Universidad de Cambridge. El nuevo *professor* del Departamento de Mineralogía (por entonces sin conexión con el Laboratorio Cavendish) fue capaz de convencer al Senado de la universidad para que crease una *lecturership* (puesto equivalente a profesor titular en España) para Cristalografía Estructural. El 17 de agosto de 1927, Bernal (uno de los tres científicos que solicitaron el puesto) supo que era el elegido. Abandonó, pues, las orillas del Támesis por las del Cam.

En Londres, Bernal ya había empezado a interesarse por la estructura de las proteínas, y en Cambridge decidió comenzar a trabajar en aminoácidos (recordemos que las proteínas son cadenas de aminoácidos), obteniendo algunos en forma cristalina. En la nueva dirección que tomaron sus investigaciones se vio favorecido por la existencia en Cambridge del Instituto de Bioquímica dirigido por Frederick Gowland Hopkins (1861-1947), con el que Bernal y su grupo mantenían frecuentes y estrechos contactos (Hopkins ganó el premio Nobel de Fisiología y Medicina de

1929 por sus trabajos sobre vitaminas).

El problema, en el que se esforzaron un buen número de investigadores, era obtener buenos cristales y buenas imágenes de difracción de rayos X de ellos, un problema especialmente sensible en el caso de las proteínas, que son estructuras biológicas. «Lo más sorprendente», escribió Bernal en uno de los libros de divulgación de los que fue autor y que reforzaron su fama, «ha sido el descubrimiento de que las moléculas de las proteínas pueden cristalizar, o sea, que varios millones de moléculas de la misma clase se pueden colocar "en fibras e hileras" —para emplear una frase de Newton— de un modo tan regular como los átomos más simples en los cristales inorgánicos. Esto implica que las moléculas de proteínas de una misma clase, son sustancialmente idénticas... La existencia de los cristales de proteínas hizo posible examinar su estructura por medio de los rayos X, empleando el mismo tipo de análisis aplicado anteriormente a los cristales inorgánicos. Así, se pudieron medir exactamente las dimensiones de las moléculas de las proteínas, desde aquellas que contienen un millar de átomos hasta las que están formadas por varios millones —compuestas principalmente de carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno.»[27]

Bernal fue el primero en descubrir, en 1934, que las proteínas cristalizadas producen patrones de difracción de rayos X detallados, con espacios del orden de las distancias interatómicas. Más concretamente, lo que hizo fue tomar fotografías de los diagramas de difracción de rayos X de un cristal de la proteína pepsina, diagramas de los que una de sus ayudantes muy dotada, Dorothy Crowfoot (que había estudiado química y cristalografía en Oxford), realizó el subsiguiente análisis, obteniendo información sobre su estructura y peso molecular.[28] Merece la pena reproducir el párrafo final de este artículo: «Ahora que se ha conseguido una proteína cristalizada que da fotografías de rayos X, está claro que tenemos los medios para comprobar [nuestras ideas] y, examinando la estructura de todas las proteínas cristalizadas, llegar a conclusiones más detalladas sobre la

estructura de las proteínas de lo que habrían permitido los métodos físicos o químicos disponibles con anterioridad».

La ayudante (y coautora) que acabo de mencionar llegaría, de hecho, a ser mucho más célebre en el dominio de la ciencia que Bernal, aunque con su nombre de casada: Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910-1994).[29] Cuando en 1964 recibió el premio Nobel de Química, la Academia Sueca de Ciencias distinguió especialmente sus contribuciones a la determinación de la estructura de la penicilina y de la vitamina B_{12}.

Muy probablemente debido a que era comunista Bernal no pudo obtener una cátedra en Cambridge, y llegó únicamente a *assistant director of research* (director ayudante de investigación). Su posición en Cambridge siempre fue secundaria; no era, por ejemplo, *fellow* de ningún college, algo muy raro en un científico de su nivel. Tampoco le ayudó el que en 1934 el Laboratorio de Cristalografía fuese formalmente agregado al Laboratorio Cavendish, entonces dirigido por Rutherford, entre cuyos intereses la determinación de estructuras cristalinas mediante difracción de rayos X no ocupaba un lugar particularmente destacado. Por todo esto no es extraño que en 1937 Bernal aceptase la cátedra del Birkbeck College de Londres, que acababa de abandonar Patrick M. S. Blackett. Éste fue el motivo por el que no coincidió con W. L. Bragg en el Cavendish.

No fue, en consecuencia, Bernal un hombre del Cavendish; sin embargo, aunque fuese de una forma indirecta sí que ayudó a que entrase a formar parte de ese laboratorio un científico que desarrollaría prácticamente toda su obra investigadora allí, y que contribuyó no sólo a engrandecer su historia, sino también a configurar una tradición, una, a la postre, gloriosa tradición, en el dominio de la biología molecular. Me estoy refiriendo a Max Perutz (1914-2002).

Natural de Viena, donde se licenció en Química, en 1936 Perutz se trasladó a Cambridge, como estudiante posgraduado. Allí terminó asociándose con John D. Bernal e

instalándose en su laboratorio, que formaba ya parte del Cavendish y que muy poco después de la llegada de Perutz pasaría a ser dirigido por el propio W. L. Bragg. «Inspirado por el entusiasmo de Bernal», escribió en un ensayo que tiene bastante de autobiográfico, «me volví un cristalógrafo, y comencé a trabajar en la estructura de la hemoglobina, porque era la proteína más abundante y fácil de cristalizar».[30]

Como en otros casos, la personalidad de Bernal atraía a muchos de los jóvenes aspirantes a científicos con los que se encontraba. ¿De qué otra forma, si no, se pueden entender pasajes como los siguientes debidos a la mano de Perutz?

> En 1936, dejé mi ciudad natal de Viena, Austria, camino de Cambridge, en Inglaterra, en busca del Gran Sabio. Le pregunté: «¿Cómo puedo resolver el secreto de la vida?». Él me contestó: «El secreto de la vida reside en la estructura de las proteínas y la cristalografía de rayos X es la única manera de resolverlo». El «Sabio» era John Desmond Bernal, un irlandés exuberante que dirigía el Departamento Cristalográfico del Laboratorio Cavendish, y que había sido el primero en descubrir que los cristales de proteínas producen patrones de difracción de rayos X detallados.[31]

Y:[32]

> Bernal era el orador más brillante que yo conocía. Era hijo de un próspero granjero irlandés católico y desde joven absorbió conocimientos como un papel secante absorbe la tinta, y se fascinó con la ciencia. Una vez, trató de generar rayos X enfocando la luz de una lámpara de parafina para ver a través de su mano y casi prendió fuego a la granja; su padre lo castigó. Se convirtió al comunismo en 1922, cuando era estudiante en Cambridge, y siguió siendo un miembro fiel al partido toda su vida... Como estudiante en Cambridge a principio de los años veinte se interesó por las ciencias naturales y más adelante se dedicó a la cristalografía de rayos X... Cuando yo fui a trabajar con él como estudiante de postgrado en 1936, Bernal estaba en la cima de sus capacidades; tenía una melena rubia (no llevaba barba), los ojos chispeantes, y rasgos vitales y expresivos. Lo llamábamos Sabio [*Sage*], porque sabía cualquier cosa, desde física hasta historia del arte. Era un bohemio, un Don Juan

extravagante y un genio que buscaba sin pausa algo que hacer que fuera más importante que el trabajo del momento.

En Viena, Perutz había podido conseguir unos cristales de hemoglobina (la proteína, recordemos, que da color rojo a las células de la sangre) de caballo y pronto se dio cuenta de que tenía, en sus propias palabras, «la estructura cristalina más sencilla de todas las proteínas de peso molecular comparable, con características que hacen saltar de gozo al corazón del cristalógrafo».[33] Sin embargo, una cosa era que fuera más sencilla que otras macromoléculas y otra que fuese asequible elucidar su estructura; ante la ausencia de un método directo para obtener las posiciones atómicas, parecía imposible intentar abordar una estructura molecular tan compleja como la de la hemoglobina. Recurriendo de nuevo a sus palabras, «era tan prometedor como un viaje a la Luna». Además, Perutz se sentía perdido en el Cavendish: «Esperé un día tras otro, confiando en que Bragg se pasaría por el laboratorio de cristalografía para enterarse de lo que había allí. Unas seis semanas más tarde me armé de valor y llamé al despacho victoriano de Rutherford en Free School Lane, ahora ocupado por Bragg. Cuando le mostré mis radiografías de hemoglobina su rostro se iluminó. Se dio cuenta de pronto del desafío que suponía extender el análisis de rayos X a las moléculas gigantes de la célula viva».

Por su parte, en su autobiografía Bragg recordó aquella ocasión como sigue:[34]

> Fue en 1938 cuando comenzó mi asociación con la investigación sobre las proteínas, que iba a conducir a resultados espectaculares veinticinco años después. Perutz estaba trabajando entonces en el Cavendish: había llegado aquí desde Viena donde las condiciones estaban haciéndose muy difíciles. Me mostró algunas muy buenas imágenes de difracción de rayos que había obtenido con cristales de hemoglobina. Una afortunada institución me hizo decidir que se debía continuar esta línea de investigación, aunque parecía que era absolutamente imposible pensar en desentrañar la estructura de una molécula tan grande. En aquel tiempo era difícil conseguir

> una beca para un estudiante refugiado. Creo que existía alguna regulación por la cual debíamos probar que el trabajo para el que se quería el dinero no podía ser realizado por un británico, antes de que pudiera destinarse a un extranjero. Escribí a la Fundación Rockefeller en Nueva York pidiéndoles una beca de 375 libras por un año: 275 libras para Perutz (creo que entonces debía de tener unos veinticuatro años) como mi ayudante y 100 libras para un tubo de rayos X. La beca fue concedida y es interesante comparar las 375 libras que apoyaron entonces la investigación con el presupuesto anual de la Unidad de Biología Molecular del MCR [Medical Research Council] en Cambridge bajo la dirección de Perutz, unidad que resultó de este modesto comienzo. En 1962, era de 375.000 libras anuales.

Efectivamente, Bragg se puso en contacto con el International Education Board de la Fundación Rockefeller para intentar conseguir una beca para Perutz. Es interesante citar la carta que dirigió a Wilbur E. Tisdale, de las oficinas de la Fundación en París, el 28 de noviembre de 1938:[35]

> Mi grupo de investigación en Manchester fue responsable en buena medida de lograr la primera extensión del análisis de rayos X de geometrías cristalinas muy sencillas a las muy complejas, y me gustaría ahora participar en extenderlo aún más a las muy complejas geometrías de las proteínas.
>
> Deseo emplear a Perutz como mi ayudante y darle un salario de 275 libras anuales. Es más fácil para mí pedirle que se quede y que realice esta investigación si puedo prometerle un puesto para tres años.

La Fundación aprobó la solicitud, concediendo además de la beca la financiación para un nuevo y más poderoso tubo de rayos X. Comenzaba así un largo camino que terminaría dando fruto a pesar de los numerosos presagios en contra; en 1953, dos meses antes de que Bragg abandonara el Cavendish por la dirección de la Royal Institution de Londres, fue cuando Perutz obtuvo imágenes que demostraban que, en principio, la estructura de la molécula de hemoglobina podía, efectivamente, ser desentrañada. Se tardaría otros cuatro años en dar con el

modelo definitivo, y sería de nuevo Perutz el responsable.[36]

Aunque no es éste el lugar para explicar por qué transcurrieron tantos años desde que Perutz comenzó a trabajar en el problema hasta que estableció su estructura, sí se pueden ofrecer algunas indicaciones.[37]

Obviamente, la interpretación de los diagramas de difracción de rayos X se va complicando según se aplica el método a sustancias más complejas. Así, la difusión de los rayos X es proporcional al número de electrones del átomo en cuestión, aunque en realidad es algo más complicado: depende del denominado «factor atómico de forma», en cuya definición aparecen el número y distribución de electrones atómicos, al igual que la longitud de onda y al ángulo de la difusión de la radiación. Relacionado con esto está el que cuanto más compleja y grande es la molécula o la base del cristal, mayor es el número de planos de átomos que reflejan los rayos X y que contribuyen a la imagen de difracción producida. Además, también se necesita manejar —para determinar, por ejemplo, qué átomos forman el cristal o molécula— intensidades *absolutas* de radiación, lo que introduce el «problema de la fase» (la radiación difundida por átomos diferentes de un mismo cristal puede interferir constructiva o destructivamente, con lo que se falsea el valor medido de la intensidad). Para geometrías complicadas y con gran número de átomos en la celda unidad (y una proteína puede tener más de 5.000 átomos) este problema se agudiza. Por estas razones, y aun desarrollando nuevas técnicas de análisis, como el poderoso método de Fourier, resulta muy importante apoyarse en otros resultados —intuiciones incluso— extraídos de otras disciplinas como, por ejemplo, la química orgánica, la teoría cuántica de la valencia o la fisiología. El desciframiento, casi un auténtico descubrimiento, de la estructura espacial de las macromoléculas orgánicas era un gran rompecabezas durante las décadas de 1940 y 1950.

En cualquier caso, de lo que no hay duda es de que la presencia de Max Perutz en el Cavendish reforzó la línea de investigación dedicada a la determinación de las estructuras

tridimensionales de sustancias bioorgánicas (en 1947, el Medical Research Council creó una «Unidad para el Estudio de la Estructura de Sistemas Biológicos», que nueve años más tarde pasó a denominarse «de Biología Molecular»). Pero antes de seguir con el Cavendish es necesario, para completar el camino que hizo posible que fuese en él en donde se descubriese la estructura del ADN, adentrarse en otros escenarios. Los primeros, unos en los que los protagonistas fueron un científico alemán que iba para físico cuántico, Max Delbrück (1906-1981), y el creador de la mecánica cuántica ondulatoria, Erwin Schrödinger.[38]

Física y biología: Max Delbrück y Erwin Schrödinger

Tras haber estudiado física, Delbrück planteó doctorarse. Su director fue Walter Heitler. No sorprendentemente teniendo en cuenta de quién procedía la idea (como se mencionó en el capítulo 6, en 1927 Heitler y Fritz London fueron autores de un influyente artículo, que marcó el desarrollo de la teoría del enlace químico, titulado «Interacción entre átomos neutros y enlace homopolar según la mecánica cuántica»), el tema que Heitler le propuso fue explicar en términos semicuantitativos por qué el enlace covalente entre dos átomos de litio era mucho más débil que el enlace formado entre dos átomos de hidrógeno. En 1929, en Gotinga, Delbrück finalizó su tesis, que involucraba cálculos bastante engorrosos.

Después de pasar un año en Bristol con el matemático y físico teórico John Lennard-Jones, Delbrück obtuvo una beca de un año de la Fundación Rockefeller. Decidió pasar la primera mitad en Copenhague, junto a Niels Bohr, y la segunda en Zúrich (llegó allí en febrero de 1931), con Wolfgang Pauli. Como muchos otros científicos de la época, Delbrück pasó a formar parte del círculo de Bohr, y fue precisamente debido a este hecho el que durante una conferencia (titulada «Luz y vida») que el físico danés pronunció el 15 de agosto de 1932, en la sesión de apertura del II Congreso Internacional de Fototerapia, celebrado en

Copenhague, Delbrück recibiese una influencia decisiva.[39] En uno de sus artículos, que escribió muchos años después, Delbrück se refirió a aquella conferencia de la manera siguiente:[40]

> Con respecto a la biología, en su conferencia «Luz y vida» de 1932, Bohr propuso que tal vez no fuera reducible a la física atómica. Sugirió que entre los aspectos físicos y psicológicos de la vida tal vez hubiera una complementariedad, análoga a los aspectos de onda y de partícula del electrón. En ese caso habría una especie de principio de incertidumbre de la biología...
>
> Desde el punto de vista de la física, en aquella época los misterios de la vida eran, en efecto, impresionantes. Los fisiólogos celulares habían descubierto innumerables modos con los que las células responden inteligentemente a cambios de las condiciones ambientales. Los embriólogos habían demostrado cosas tan asombrosas como la posibilidad de obtener dos animales a partir de dos mitades de un embrión. Estos descubrimientos recordaban vagamente la «unidad» del átomo y la estabilidad de sus estados cuánticos. La estabilidad de los genes y el álgebra de la genética mendeliana sugirieron a Bohr que los procesos que subyacían a los fenómenos eran parecidos a la teoría cuántica.

Vemos así que al menos hacia la década de 1930 ya había quienes sostenían que la física cuántica tenía algo que decir con relación al desarrollo de la biología. El propio Delbrück se dedicó, a partir de 1934, a buscar una conexión entre la biología y la física, y lo hizo de una manera muy directa, interesándose por la influencia de la luz en la vida. Una ayuda esencial en semejante dirección surgió de la genética clásica: en 1927, el ya citado antiguo discípulo de Morgan y futuro premio Nobel de Medicina (1946), Herman Muller anunció que había inducido mutaciones en la mosca *Drosophila* con rayos X.[41] Este descubrimiento abría el camino a los físicos para que estudiasen los procesos físico-químicos de la entidad biológica denominada «gen», concepto que el propio Muller promovió con fervor, postulando que constituía la auténtica base de la vida, aunque pensaba que la tarea de desentrañar sus misterios superaba las habilidades de los genéticos, por lo

que urgió a los físicos que fuesen en su ayuda.

En 1932, y motivado en parte por problemas personales (un divorcio y la gran presión de trabajo que tenía que soportar le condujeron a una crisis nerviosa), Muller pasó un año en Berlín, donde colaboró con Nikolai Timoféeff-Ressovsky, que dirigía, como sabemos, el Laboratorio de Genética del Instituto de Investigación del Cerebro de la Asociación Káiser Guillermo y que también estaba interesado en la genética de la *Drosophila*. Por entonces, Delbrück se encontraba también en Berlín, trabajando con Lise Meitner y Otto Hahn en el Instituto de Química de la Asociación Káiser Guillermo. Al margen de esta ocupación, había organizado un pequeño grupo de discusión en la casa de su madre. Allí conoció a Timoféeff-Ressovsky, y se familiarizó con las ideas de éste y de Muller. Con Timoféeff-Ressovsky y Karl Günter Zimmer, Delbrück desarrolló en 1935 un modelo cuántico de mutación genética, en un artículo titulado «Sobre la naturaleza de la mutación genética y la estructura de los genes» que, aunque resultó incorrecto, a la postre ejerció una notable influencia.[42] De hecho, se puede decir que aquel trabajo constituye una de las primeras aproximaciones a la biología molecular.

Cada uno de los tres autores escribió una parte del artículo, mientras que la conclusión fue una tarea conjunta. En su parte, Delbrück sostenía que la genética no se puede reducir a la física y a la química, sugiriendo que los genes desempeñan únicamente un papel como catalizadores en los procesos metabólicos. Si se aceptaba que fuesen moléculas (algo que entonces no era más que una suposición), Delbrück consideraba que los genes eran sistemas cuánticos, y las mutaciones inducidas por rayos X cambios de un estado electrónico estable a otro.

Si el artículo de Timoféeff-Ressovsky, Zimmer y Delbruck ejerció influencia, fue debido a la labor de divulgación ejercida en su favor por un librito del creador de la mecánica cuántica ondulatoria, Erwin Schrödinger: *What is Life?* (*¿Qué es la vida?*), publicado en 1944 y fruto

de una serie de conferencias en el Institute for Advanced Studies de Dublín, al que el creador de la mecánica ondulatoria había llegado tras exiliarse de la Alemania hitleriana. El artículo de Timoféeff-Ressosvsky, Zimmer y Delbrück desempeñaba, en efecto, un papel destacado en *What is Life?*; constituía, de hecho, la fuente principal de la teoría desarrollada en los últimos capítulos del libro, uno de los cuales llevaba por título «Discusión y verificación del método de Delbrück» (era a éste a quien Schrödinger adjudicaba el mayor mérito del trabajo).

Que el texto de Schrödinger participaba de un espíritu análogo al de Delbrück es algo que se puede comprobar fácilmente sin más que hojear sus páginas, en las que se pueden encontrar frases como la siguiente:[43]

> El holandés Hugo de Vries descubrió hace unos cuarenta años que incluso en la descendencia de cepas realmente puras aparece un número muy pequeño de individuos, algo así como dos o tres entre varias docenas de miles, con cambios pequeños, pero que suponen una especie de «salto». La expresión «salto» no quiere significar que el cambio sea especialmente importante, sino que supone una discontinuidad, en el sentido de que no hay formas intermedias entre la forma inalterada y los pocos individuos que han cambiado. Tras su observación, de Vries les dio el nombre de mutaciones. El hecho significativo es la discontinuidad. Al físico le recuerda la teoría cuántica, según la cual no hay energías intermedias entre dos niveles energéticos contiguos. Podríamos llamar a la teoría de la mutación, de forma figurada, la teoría cuántica de la biología... Las mutaciones se deben, de hecho, a saltos cuánticos en las moléculas del gen. Pero la teoría cuántica sólo tenía dos años cuando de Vries publicó su teoría de la mutación, en el año 1902. No es, pues, extraño que se necesitase una generación más para descubrir la íntima relación entre ambas.

En concreto, las principales preguntas que se hizo Schrödinger en *What is Life?* eran las siguientes: ¿cuál es la estructura física de las moléculas que se duplican cuando se dividen los cromosomas? ¿Cómo se debe entender el proceso de la duplicación? ¿Cómo retienen, de generación en generación, estas moléculas su individualidad (problema

de la herencia)? ¿Cómo logran controlar el metabolismo de las células? ¿Cómo crean la organización que se ve en la estructura y en las funciones de los organismos superiores? A Schrödinger le preocupaba, en suma, el hecho de que los acontecimientos a nivel atómico son inestables y efímeros, mientras que los organismos vivos muestran una gran estabilidad. No contestó las preguntas que se formuló, limitándose a sugerir que, de alguna manera, la información necesaria para retener los caracteres que se transmiten de generación en generación debía estar contenida en los enlaces covalentes de un «cristal aperiódico gigante», que denominó «el código hereditario», pero el simple hecho de formular semejantes cuestiones contribuyó a favorecer el desarrollo de la biología molecular.

Mientras que Schrödinger poco más podía añadir al problema de la vida, o de los genes, Delbrück ya había comenzado con anterioridad a estudiarlos experimentalmente, instalado desde 1937 en Estados Unidos, los dos primeros años en el California Institute of Technology, recurriendo a los virus bacterianos, bacteriofagos, o *fagos*.[44]

Aunque los fagos son demasiado pequeños para poder observarlos con microscopios ordinarios, y estructural y químicamente son muy sencillos (mitad proteínas, mitad ADN), están dotados de una gran capacidad de autorreproducción.[45] Tomaron protagonismo porque se trataba de los virus más sencillos y algunos genetistas pensaban que los virus eran una forma de genes «desnudos», lo que les llevaba a pensar que la mejor manera de averiguar qué eran los genes y cómo se duplicaban era estudiando las propiedades de los virus.

Junto a Emory Ellis, Delbrück demostró que un fago que infecta a una célula puede dar lugar, efectivamente, a cientos de fagos idénticos en media hora, con lo que se convertían en extraordinarios instrumentos para estudiar la replicación genética.[46] Dos años después de esta publicación, ya con su laboratorio en la Universidad de

Vanderbilt (Tennessee), Delbrück conoció a Salvador Luria (1912-1991), un italiano de familia judía sefardí que emigró en septiembre de 1940 a Estados Unidos, y a Alfred Hershey (1908-1997), dando lugar al conocido como «Grupo de los Fagos», cuyos miembros estaban unidos por un deseo común: resolver el misterio del gen. Es interesante también mencionar que en 1947, Luria, entonces profesor en Indiana, tomó como estudiante graduado a un joven biólogo de Chicago de nombre James Watson, iniciándole como miembro del Grupo de los Fagos (la tesis doctoral de Watson, que presentó en 1950, se tituló «The biological properties.of X-ray inactivated bacteriophage»).

Pero antes de abandonar la senda de los fagos, mencionaré la importancia que tuvieron para la aceptación del ADN como material genético los experimentos realizados en 1952 por otros miembros de aquel grupo, el citado Hershey y Martha Chase (1927-2003), con los que demostraron que cuando un fago (el denominado T2) infecta a una bacteria y se reproduce allí produciendo más fagos, solamente el ácido nucleico, el ADN, entra en la bacteria, mientras que la proteína del fago permanece en el exterior.[47] Estos resultados resaltaron la importancia del ADN, reavivando el interés y el recuerdo de los resultados obtenidos en 1944 por Avery, MacLeod y McCarty. En su autobiografía, Luria escribió sobre los resultados de Hershey y Chase:[48]

> En un conjunto de experimentos justamente célebres por su elegante sencillez, [Alfred Hershey] y su colega Martha Chase demostraron que cuando una partícula de bacteriófago, que se compone de una proteína y ADN, ataca una bacteria, la proteína queda fuera y el ADN penetra en la bacteria, se multiplica y hace surgir más bacteriófagos. En los bacteriófagos, como en las bacterias de Avery y como en cualquier organismo vivo, hoy estamos seguros de que los genes son ADN (algunos virus se las arreglan con genes hechos de otra clase de ácido nucleico llamado ARN).
>
> La importancia de los descubrimientos que identificaron como ADN el material genético, primero de las bacterias, luego de los bacteriófagos y, a la postre de todos los organismos,

consistió en que convirtieron el problema del gen en un problema para la química (aunque seguía siendo, plenamente, un problema de genética). Aún no se conocía la estructura del ADN a nivel molecular, pero al menos químicos y genéticos sabían que estaban tratando con una sustancia química específica.

De la física a la biología: Francis Crick

What is Life? fue un libro muy influyente. En la «Introducción» de *Phage and the Origins of Molecular Biology*, un libro preparado para rendir homenaje a Delbrück en su sesenta cumpleaños, Gunther Stent escribió al respecto:[49]

> Poco antes del final de la Segunda Guerra Mundial el gran físico austríaco Erwin Schrödinger, que entonces vivía como un emigrado antinazi en Irlanda, escribió el librito *What is Life?*, que iba a atraer amplia atención en el alba de una nueva época de investigación biológica. Por qué este libro produjo tal impacto es algo que nunca estuvo claro. Después de todo, Schrödinger presentó ideas que incluso entonces no eran ni particularmente nuevas ni originales. Además, el libro no se leía demasiado fácilmente; aunque parecía estar escrito con bastante claridad, esa claridad era engañosa, ya que la mayoría de los lectores debieron sentir de vez en cuando la incómoda impresión de que no habían entendido realmente lo que Schrödinger intentaba conseguir. Para los biólogos profesionales el libro tuvo probablemente poca o ninguna influencia. En la medida en que se molestasen en leer *What is Life?*, probablemente consideraron el título una colosal muestra de pretenciosidad. Cuando se sintiesen más caritativos, habrían contemplado el libro con divertida tolerancia. Pero su impacto propagandístico en los físicos fue muy grande. El conocimiento de biología de éstos se limitaba generalmente al dominio botánico o zoológico, y tener a uno de los Padres Fundadores de la nueva física planteándose la pregunta de «¿Qué es la vida?» les proporcionaba una confrontación autorizada con un problema fundamental merecedor de su atención. Como muchos de estos físicos estaban sufriendo en el período inmediato de posguerra de una enfermedad profesional general, estaban ansiosos de dirigir sus esfuerzos hacia una nueva frontera, que, según Schrödinger, estaba dispuesta para algún

avance excitante.

«Los físicos», decía Stent, «estaban ansiosos de dirigir sus esfuerzos hacia una nueva frontera». Esta percepción también la compartió el ilustre biólogo francés François Jacob (obtuvo el premio Nobel de Medicina en 1965, compartido con André Lwoff y Jacques Monod), quien en uno de sus libros, *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité* (1970) escribió:[50]

> Lo que atrajo a muchos físicos hacia la biología y, sobre todo, al análisis de la herencia fue la esperanza de encontrar en ella alguna ley nueva aún no revelada por el estudio de la materia. Esta esperanza se ha visto frustrada. La ineficiencia de las técnicas hace inaccesible a la química experimental la complejidad de muchas estructuras. No es inconcebible que en el futuro se consiga sintetizar una a una los miles de especies químicas que constituyen la célula bacteriana; pero no hay ninguna posibilidad de ver surgir una bacteria completamente formada ensamblando correctamente todos esos compuestos en un tubo de ensayo.

Uno de los físicos que confirman la imagen que ofrecía Stent fue Francis Crick (1916-2004), que había leído el libro de Schrödinger. En un libro autobiográfico, al referirse a los años de la Segunda Guerra Mundial, escribió «aunque sólo más adelante logré ver sus limitaciones —como la mayoría de los físicos, su autor no sabía nada de química—, pero sin duda creaba la sensación de que cosas importantes estaban a la vuelta de la esquina».[51]

Francis Crick había estudiado en el University College de Londres, graduándose en física con matemáticas como optativa. «La física que me enseñaron», manifestó en las citadas memorias, «era competente, aunque un poco anticuada. Nos enseñaron la teoría del átomo de Bohr, que por aquel entonces (a mediados de los años treinta) ya estaba desfasada. La mecánica cuántica casi no se mencionaba hasta el último año, en el que se daba un cursillo de seis clases.»[52] Una vez graduado comenzó a trabajar bajo la dirección de Edward Neville de Costa

Andrade. «Andrade», continuaba explicando en su libro autobiográfico, «me puso a trabajar en el problema más arduo que uno pueda imaginarse: la determinación de la viscosidad del agua, bajo presión, entre 100 ºC y 150 ºC.»[53] La tarea principal de Crick consistió en construir un recipiente esférico de cobre, hermético, con un cuello que permitiera la expansión del agua que contenía.

> Probablemente, esta experiencia me sirvió durante la guerra, cuando tuve que diseñar armas, pero aparte de ello fue una pérdida completa de tiempo. Lo que sí *adquirí*, aunque fuera indirectamente, fue la seguridad intelectual del físico, la sensación de que la física como disciplina era muy fructífera, así que, ¿por qué no habrían de serlo las otras ciencias? Creo que esto me fue muy útil cuando finalmente, después de la guerra, me decidí por la biofísica. Fue un sano antídoto contra la actitud perseverante, más bien prudente, que reiteradamente encontré cuando empecé a frecuentar a biólogos.

Durante la Segunda Guerra Mundial, a principios de 1940, Crick fue empleado como civil en el Ministerio de Marina. Primero trabajó en el Laboratorio de Investigación de la Marina, próximo al National Physical Laboratory de Teddington, después le trasladaron al Departamento de Diseño de Minas, cerca de Portsmouth. Cuando terminó la guerra le dieron un empleo en el servicio de información científica del Ministerio de Marina, en Londres. «Afortunadamente», recordaba en *Qué loco propósito*, «una mina destruyó el aparato que tan laboriosamente había fabricado en la universidad, de modo que no me sentí obligado a volver a medir la viscosidad del agua.»

Crick «no sabía qué hacer», aunque «estaba seguro de que no quería pasarme el resto de mi vida diseñando armas».[54] Un día reparó que estaba comentando con cierto entusiasmo los últimos avances realizados con los antibióticos a algunos amigos que tenía en el Ministerio. Estrechó «con rapidez» su «abanico de intereses a dos áreas fundamentales: la frontera entre lo viviente y lo no viviente, y el funcionamiento del cerebro». Fue por entonces cuando leyó, entre otros libros, *What is Life?*

Más o menos al mismo tiempo el fisiólogo Hamilton Hartridge le ofreció un empleo para dedicarse al estudio del ojo humano. Pero le surgió un problema, ya que «la semana anterior había resuelto que mi nuevo campo de investigación sería la biología molecular, y no la neurobiología», así que rechazó la oferta. Con la ayuda de quien ya era un físico notable, aunque lo sería aún más en el futuro, Harrie Massey, con quien había trabajado durante la guerra, conoció a otro físico, Maurice Wilkins (1916-2005), un neozelandés del King's College de Londres que se había graduado en Física en la Universidad de Cambridge en 1938.[55] «Maurice era, en algunos aspectos, una persona fuera de lo corriente. Habían trabajado [Massey y Wilkins] juntos en Berkeley, en la separación de isótopos para la bomba atómica» (esto es, en el Proyecto Manhattan), pero tras la guerra había vuelto a trabajar con su antiguo jefe, John Randall, en el Departamento de Física del King's College de Londres. Randall había logrado convencer al Medical Research Council (MRC) para que apoyara la incorporación de físicos a la biología. «A Randall», explicaba Crick en sus memorias, «uno de los inventores del magnetrón (novedad fundamental para las aplicaciones militares del radar), no le fue difícil argumentar que, considerando la influencia decisiva que los físicos habían tenido en los resultados de la guerra, ahora podían dirigir sus esfuerzos hacia algunos de los problemas biológicos fundamentales que estaban en la base de la investigación médica. En resumen, había dinero disponible para "biofísicos", y el MRC había montado una de sus unidades de investigación en el King's College, con Randall al frente como director.»

Pero «no estaba del todo claro qué era exactamente un biofísico, o cuál podría ser su utilidad. En el King's opinaban que un paso importante sería la aplicación de las técnicas modernas de la física a los problemas biológicos. Wilkins había estado trabajando en un nuevo microscopio de luz ultravioleta, utilizando espejos en lugar de lentes». Sin embargo, Crick no compartía el entusiasmo de Wilkins

por este instrumento. Se planteó entonces en qué trabajar y dónde hacerlo. En primer lugar, pensó en la posibilidad del Birkbeck College de Londres «con el cristalógrafo de rayos X, J. D. Bernal». Pero no encontró demasiadas facilidades: «¿Se da cuenta de que gente de todo el mundo quiere venir a trabajar con el profesor?», le espetó la secretaria de Bernal, y además el MRC no estaba dispuesto a financiar su trabajo allí. Finalmente, visitó el Laboratorio Strangeways, dirigido por el pionero en el estudio del desarrollo de huesos y cartílagos Honor Fell y dedicado a cultivos celulares, en el que se quedó con una beca del MRC. Después de un año de estar allí, fue a ver al poderoso secretario del MRC, sir Edward Mellanby, para informarle de sus progresos (entonces estaba obteniendo resultados sobre las propiedades físicas del citoplasma). La visita se produjo en un momento singularmente propicio: «Sobre la mesa de Mellanby estaban los papeles con la propuesta de establecer una unidad del MRC en el Cavendish, con el objeto de estudiar la estructura de las proteínas utilizando la difracción de rayos X. Estaría dirigido por Max Perutz, bajo la dirección general de sir Lawrence Bragg. Para mi gran sorpresa (ya que yo era un principiante), me preguntó qué opinaba sobre ello. Contesté que me parecía una idea excelente. También dije que ahora que tenía experiencia en biología, me gustaría trabajar en la estructura de proteínas, puesto que consideraba que mi preparación sería más adecuada para este enfoque. Esta vez no puso ninguna objeción, y así despejó el camino que me reuniría con Max Perutz y John Kendrew en el Cavendish».

Esto ocurría en 1947, cuando Crick contaba treinta y un años. «Allí [en el Cavendish]», explicaba en sus memorias, «me convertí de nuevo en estudiante graduado, intentando aprender algo sobre la estructura tridimensional de las proteínas mediante el estudio de los patrones de rayos X producidos por las proteínas cristalizadas.»[56]

Al haber centrado mi tratamiento estableciendo una línea genética lo más continua posible, en lo que precede me he limitado a la «conexión inglesa», la que va de los Bragg a Perutz, Wilkins y Crick; pero la historia de los orígenes físico-químicos de la biología molecular, y en especial del descubrimiento de la estructura del ADN, no se limita a esa «conexión». En particular, son muy importantes las contribuciones y enfoques de Linus Pauling (1901-1994).

Tras haberse licenciado, en 1922, en Ingeniería Química en el Oregon State Agricultural College (nació en Portland, Oregon), Pauling se trasladó al California Institute of Technology con el propósito de doctorarse.[57] El Caltech al que llegó Pauling era entonces una institución en pleno desarrollo, que hasta dos años antes se había llamado Throop College. Pero pocos años después el astrónomo George Ellery Hale, el químico-físico Arthur Amos Noyes y el físico Robert Millikan convirtieron Caltech en un centro de educación superior e investigación de primer orden. Si Londres, Manchester o Cambridge tenían la ventaja de contar con los Bragg, Caltech fue a partir de la década de 1920 y en lo que a la biología molecular se refiere, un centro único. Gilbert Newton Lewis, el químico-físico que en 1916 había propuesto una teoría del enlace químico covalente basada en los electrones, estaba allí, al igual que Richard Chance Tolman, profesor de química-física y de física matemática, que enseñó relatividad, mecánica estadística y física matemática a Pauling, quien también recibió enseñanzas del matemático británico Harry Bateman, de Noyes y de Millikan y de los físicos europeos Paul Ehrenfest, de Leiden, y Arnold Sommerfeld, de Múnich, que visitaron el campus de Caltech y dieron cursos sobre diferentes aspectos de la física cuántica. Y todavía había más: en una institución joven, aún no excesivamente dividida en compartimentos (departamentos) estancos, estaba la posibilidad —de la que Linus se benefició— de

interesarse por las investigaciones biológicas que estaba llevando a cabo allí Thomas H. Morgan.[58] El estilo científico de Pauling, bastante diferente del de la mayoría de los británicos que han aparecido hasta el momento, fue deudor de la educación que recibió y del ambiente en que se movió en Pasadena. En efecto, su estilo mezclaba consideraciones cuánticas sobre el enlace químico con las propias de la cristalografía y difracción de rayos X, sin olvidar algunas más biológicas.[59] Para él, la biología molecular era «una parte de la química estructural, un campo que estaba comenzando a desarrollarse cuando empecé a trabajar en la determinación de estructuras cristalinas mediante difracción de rayos X en el California Institute of Technology en 1922».[60] Crick resumió acertadamente la importancia de Pauling para la biología molecular así como las bases químico-físicas de su estilo de trabajo cuando escribió que:[61]

> Pauling fue en biología molecular una figura más importante de lo que a veces se cree. No sólo hizo algunos descubrimientos clave (por ejemplo que la anemia falciforme era una enfermedad molecular), sino que tenía la aproximación teórica exacta a estos problemas biológicos. Creía que mucho de lo que quedaba por saber podía explicarse utilizando ideas químicas bien fundadas, en especial la química de macromoléculas, y que nuestros conocimientos sobre los diversos átomos, especialmente el carbono, y sobre los enlaces que mantienen los átomos juntos... serían suficientes para desvelar los misterios de la vida.

Al llegar a Pasadena, el joven Linus ya había «tomado prestado, y leído, de la Oregon State Library el libro de Bragg sobre rayos X y cristales»,[62] además de haber estudiado «los artículos que Irving Langmuir había publicado en 1919 sobre la estructura electrónica de las moléculas».[63] El director de tesis de Pauling, Roscoe Gilkey Dickinson, uno de los tres primeros estudiantes en obtener el título de doctor por Caltech (en 1920), era un especialista en cristalografía de rayos X. Con su director, Pauling determinó la estructura de algunos cristales

complejos, como la molibdenita (MoS_2).64 Y una vez dominada la técnica, se lanzó en esta dirección: antes de doctorarse, en 1925, había publicado, solo o en colaboración, siete artículos sobre estructuras cristalinas, especialmente de silicatos.

Con Noyes, primero, Dickinson, luego, y después Pauling, Caltech se convirtió en un centro de primer orden en cristalografía. Pauling escribió tiempo después:

> «Durante varios años la difracción de rayos X fue el principal campo de investigación en química del Instituto. De los 20 artículos que se habían publicado a finales de 1922, 15 eran sobre la determinación de la estructura de cristales. Al comenzar a adentrarnos en otros campos de investigación, los artículos dedicados a la determinación de estructuras cristalinas mediante difracción de rayos X se redujeron a alrededor del 20 % del total, y más tarde al 10 %. Durante los últimos cincuenta años se han publicado alrededor de 400 artículos sobre difracción de rayos X, procedentes de los laboratorios Gates y Crellin de Química del California Institute of Technology, lo que representa la determinación de la estructura de unos 400 cristales.65

En Estados Unidos, Caltech reinó sin prácticamente competidores en el campo de la cristalografía de rayos X durante bastante tiempo, casi tres décadas. Sólo en el MIT, en los laboratorios de investigación de General Electric y en Cornell, se iniciaron investigaciones en esta disciplina, aunque se abandonaron al poco tiempo. Esto puede parecer sorprendente si se tiene en cuenta que el descubrimiento de Röntgen había sido recibido con enorme interés en Estados Unidos, repitiéndose en numerosos lugares sus experimentos, y que un interés parecido existió al recibirse desde Europa las primeras noticias de los trabajos de los Bragg. Sin embargo, las comparaciones se detienen en este punto: obtener rayos X a la manera de Röntgen no era difícil, requería pocos conocimientos y una cierta habilidad; de hecho se habían estado produciendo sin saberlo durante años con los equipos disponibles de rayos catódicos. Pero obtener un diagrama de difracción exponiendo un cristal a

un haz de rayos X, y especialmente interpretar los resultados, era mucho más difícil. En la primera década del siglo XX tales cualidades escaseaban en Norteamérica, no así en Inglaterra.[66]

Entre marzo de 1926 y el otoño de 1928, Pauling amplió estudios en Europa, con una beca de la Fundación Guggenheim. Pasó el primer año en Múnich con Sommerfeld, después estuvo un mes con Bohr en Copenhague, y el resto del tiempo en Zúrich, con Schrödinger. Especialmente importante fue que conoció en Múnich a Walter Heitler y Fritz London, quienes, como ya se indicó, a principios de 1927 publicaron su teoría del enlace covalente, que aplicaron a la más simple de las moléculas, la del hidrógeno. «Inmediatamente», escribió años más tarde Pauling, «comencé a aplicar la teoría de Heitler y London a sistemas más complicados, y en 1928 publiqué un breve artículo sobre la teoría del par de electrones compartidos en el enlace químico.»[67] Para entonces, desde el otoño de 1927, ya estaba de regreso en Caltech donde fue nombrado profesor ayudante de Química Teórica.

En una carta que escribió a Gilbert N. Lewis el 7 de marzo de 1928 se refería al artículo al que aludía en la cita anterior, dentro del contexto de las aportaciones de Lewis:[68]

> Querido Profesor Lewis:
>
> Sin duda habrá visto el reciente artículo de London en el *Zeitschrif für Physik* [«Zur Quantentheorie der homoopolaren Valenzzahlen», 1928] y habrá observado que los resultados que deriva de la mecánica cuántica concernientes a compartir electrones, en lo principal, son equivalentes a las reglas que usted había obtenido previamente. Es, por supuesto, su prerrogativa señalar esto; pero en la creencia de que probablemente no lo hará, me he tomado la libertad de referirme a este hecho en la primera parte de una nota sobre algunos desarrollos de la teoría que he enviado a los Proceedings of the National Academy (incluyo una copia) [«The shared-electron chemical bond», 1928]. Si esto no recibe su aprobación, haré los cambios que desee. En un artículo más

extenso para el *Journal of the American Chemical Society* señalaré con más detalle la sustanciación que da la mecánica cuántica a su teoría. Me satisface mucho que en el nuevo modelo atómico los rasgos que resultan del átomo de Lewis se hayan reproducido tanto como los del átomo de Bohr.

En las clases que he estado dando este año sobre mecánica cuántica con aplicaciones químicas, he revisado detenidamente el trabajo sobre la molécula de hidrógeno y el ion molecular, y he corregido varios errores sustanciales. Además, he realizado los cálculos que proporcionan la interpretación de dos átomos de helio [...].

He traducido la disertación de Goudsmit, y juntos la estamos ampliando ahora para formar una monografía «The Atomic Model and the Structure of Line Spectra», que, creo, aparecerá durante este verano. He trabajado con Goudsmit en Copenhague en problemas espectrales, y he descubierto que un conocimiento de la teoría de los espectros resulta muy útil para abordar el problema que más me interesa: la naturaleza del enlace químico.

El libro con Samuel Goudsmit al que se refería Pauling en esta carta apareció más tarde de lo que preveía: lo publicó McGraw-Hill en 1930 en la colección dirigida por F. K. Richtmyer «International Series in Physics». Se tituló, *The Structure of Line Spectra*.

En 1931 Pauling publicó una descripción detallada de la mecánica cuántica del enlace covalente. Estos estudios y trabajos posteriores le condujeron a publicar en 1935, en colaboración con Edgar Bright Wilson, una introducción a la mecánica cuántica destinada a químicos: *Introduction to Quantum Mechanics, with Applications to Chemistry*. Mucho más importante que este texto fue su célebre tratado de 1939, que ya apareció en el capítulo 6: *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals*. El libro estaba dedicado a Gilbert Newton Lewis. Este debió hacer llegar a Pauling su satisfacción por la dedicatoria, y el 20 de agosto de 1939 Linus escribía a Lewis:

Querido Profesor Lewis:

Me hace muy feliz saber que está contento con mi libro, y que piense que es lo suficientemente bueno como para habérselo

dedicado. Sabe usted, por supuesto, que le he tenido en mente continuamente mientras lo escribía y que he estado deseando que aceptaría mi tratamiento.

Estoy esperando ver el artículo sobre el color que usted y Calvin van a publicar en el número de octubre de *Chemical Reviews*. He estado trabajando durante algunos meses en la teoría del color en tintes [...] y hace algunos meses pensé en una forma de efectuar cálculos aproximados mecánico-cuánticos; la dificultad se halla, por supuesto, en encontrar un tratamiento aproximado que sea razonablemente simple y no obstante lo suficientemente bueno como para ser significativo.

Un detalle interesante, y revelador de que Pauling estaba pensando para la audiencia de su libro no sólo en los químicos sino también en los físicos, se encuentra en la carta que envió el 13 de junio a W. S. Schaefer, un miembro de la editorial Cornell University Press que lo había publicado, en donde le adjuntaba una lista de personas a las que quería que se enviase un ejemplar. En esa lista aparecían, entre otros, William Bragg, Robert Millikan, Niels Bohr y Werner Heisenberg.

Es difícil, tantos años después, darse cuenta de lo que significó *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals* para, entre otros, aquellos que pugnaban por desentrañar la estructura de las moléculas biológicas. En cierta ocasión, Max Perutz manifestó sobre el particular:[69]

En la Navidad de 1939, una amiga me regaló un vale para libros que utilicé para adquirir *La naturaleza del enlace químico* de Linus Pauling, que había aparecido poco antes. Ese libro transformó el panorama químico romo de los textos anteriores en un mundo de estructuras tridimensionales... [El] libro de Pauling reforzó mi convicción, inspirada por J. D. Bernal, sobre la importancia de conocer la estructura tridimensional, y de que jamás se comprendería la célula viva sin conocer las estructuras de las grandes moléculas que la componen... El enfoque creativo de Pauling, su síntesis de la química estructural, teórica y práctica, su capacidad de integrar una amplia gama de observaciones para sustentar sus generalizaciones, así como su prosa ágil, reunió por primera vez los datos llanos de la química en una trama intelectual coherente para mí y para miles de

estudiantes.

En 1932 Pauling presentó una propuesta de investigación en química estructural a la Rockefeller Foundation. Aunque pretendía dedicarse sobre todo a estudiar sustancias inorgánicas, señaló la necesidad de determinar también la estructura de moléculas orgánicas. «Este conocimiento», apuntó, «puede ser de gran importancia para la bioquímica, resultando en la determinación de la estructura de las proteínas, hemoglobina y otras sustancias orgánicas complicadas.»[70] La Fundación decidió financiar el proyecto durante dos años. Transcurrido ese período, Pauling supo que la Rockefeller no tenía intención de seguir apoyando el campo de la química estructural inorgánica, pero que recibiría con agrado propuestas de proyectos para investigar sustancias importantes para la biología. Más aún, Warren Weaver, el director (desde 1932) del Departamento de Ciencias Naturales de la Fundación, fue muy claro indicando que ésta podría ofrecer dinero —un dinero que Pauling necesitaba casi desesperadamente, debido a la propia expansión de su grupo— pero sólo para investigaciones biomoleculares; la química pura no estaba en el programa de la Rockefeller, patrocinar esos estudios era responsabilidad de Caltech. En este sentido, al igual que en otros, el papel de la Fundación Rockefeller (y de otras grandes fundaciones en otros campos) fue más allá de ser un mero suministrador de fondos; intervino directamente dirigiendo hacia rumbos determinados los esfuerzos de científicos que subvencionaba; y a través de ellos, en las disciplinas que finalmente terminaban viéndose favorecidas en las universidades que les albergaban. En definitiva, intervino en el curso de la historia de la ciencia.

Cuando la Fundación Rockefeller impuso sus condiciones, Pauling ya había adquirido el conocimiento suficiente para abordar el estudio de las grandes moléculas, las que aparecen en la materia viva. Como en el caso de Perutz, aunque con diferencias derivadas del hecho de que él tenía otros intereses —más teóricos y pluridisciplinares—

que los del químico austríaco afincado en Cambridge, el camino a recorrer era, sin embargo, largo y tortuoso. Posiblemente el fruto más notable fue el que llegó a comienzos de la década de 1950, cuando Pauling publicó una serie de ocho artículos sobre la estructura de las proteínas, el primero de los cuales (escrito en colaboración con Robert Corey y Herman Russell Branson) comenzaba con las siguientes palabras:[71]

> Durante los últimos quince años hemos estudiado el problema de la estructura de las proteínas de diversas maneras. Una de ellas es la determinación completa y precisa de la estructura cristalina de aminoácidos, péptidos y otras sustancias simples relacionadas con las proteínas, para obtener información sobre las distancias interatómicas, ángulos de enlaces y otros parámetros de las configuraciones que permitiesen predecir con fiabilidad configuraciones razonables de la cadena de polipéptidos. Ahora hemos utilizado esta información para construir dos configuraciones helicoidales con enlaces de hidrógeno para la cadena de polipéptidos; pensamos que es probable que estas configuraciones constituyan una parte importante tanto de la estructura de las proteínas fibrosas y globulares como de las de polipéptidos sintéticos.

La estructura helicoidal que mencionaban es la denominada «hélice α», que se le había ocurrido a Pauling en 1948, estando en Oxford y obligado a permanecer en cama debido a una fuerte gripe (hizo pública su idea el año siguiente, en Caltech). Entre las virtudes de semejante estructura se encontraba la de que permitía interpretar las imágenes de difracción de rayos X de fibras proteínicas de cabellos, uñas y músculos (esto es, sustancias que contienen proteínas como la queratina), que otro de los pioneros de la aplicación de las técnicas de difracción de rayos X a sustancias orgánicas, William Thomas Astbury (1898-1961), discípulo de W. H. Bragg y compañero de Bernal en la Royal Institution, había obtenido en la Universidad de Leeds donde era *lecturer* de física de textiles[72]

A partir de entonces la estructura helicoidal se puso de moda. Como ha señalado el historiador de la biología

Robert Olby, «en lugar de ser una de las muchas configuraciones que se encuentran en la química, se convirtió en la estructura más común para el estudioso de las moléculas importantes desde el punto de vista biológico».[73] Por su parte, John Kendrew, otro de los protagonistas de aquel mundo, manifestó en cierta ocasión:[74] «Linus Pauling, cuya principal contribución fue definir la hélice alfa como un principio estructural básico para los moléculas de proteínas».

Se ha argumentado que Watson y Crick y la doble hélice del ADN son buena muestra de esa influencia, aunque la verdad es que ambos han realizado manifestaciones un tanto contradictorias. Así, Watson, en su célebre libro *The Double Helix* (1968) —al que volveré más adelante— recordaba:[75] «El cristalógrafo V. Vand envió a Max [Perutz] una carta que contenía una teoría de la difracción de rayos X para moléculas helicoidales. Las hélices estaban entonces en el centro de interés del laboratorio [Cavendish], principalmente debido a la hélice α de Pauling». Y pocas páginas antes había escrito una frase que hay que insertar en las precedentes:[76] «A los pocos días de mi llegada [al Cavendish], sabía lo que hacer: imitar a Linus Pauling y batirle en su propio juego». Sin embargo, los recuerdos de Crick fueron un tanto diferentes:[77] «Se ha dicho que el modelo de Pauling de la hélice α, o su modelo incorrecto del ADN, nos sugirió la idea de que el ADN era una hélice. Nada más alejado de la realidad. Las hélices estaban en el ambiente y había que ser muy obtuso o muy obstinado para no pensar en líneas helicoidales. Lo que Pauling nos enseñó es que la construcción meticulosa y exacta de un modelo podía representar una limitación que, en cualquier caso, la respuesta final debía satisfacer. En algunas ocasiones, esto podía conducir a la estructura correcta, empleando solamente un mínimo de pruebas experimentales directas. Ésta fue la lección que recibimos y que Rosalind Franklin y Maurice Wilkins no supieron apreciar cuando intentaron descifrar la estructura del ADN».[78]

Por consiguiente parece claro que el descubrimiento de la estructura del ADN debió bastante a Pauling, y no sólo en lo que se refiere a su táctica de «jugar» con modelos, o por la hélice α, sino también por haberse aproximado a la idea de «estructuras complementarias» que desempeñan un papel central en los procesos de replicación hereditaria. Así, en uno de sus numerosos artículos en los que recordaba sus aportaciones escribió:[79]

> Hacia 1948 [y aquí se citaba a sí mismo: L. Pauling, *Molecular Architecture and the Processes of Life; the 21st Sir Jesse Boot Lecture* (sir Jesse Boot Foundation, Nottingham 1948)] yo fui capaz de escribir sobre el gen: «El mecanismo detallado por medio del cual un gen o una molécula viral produce réplicas de sí misma no se conoce todavía. En general, el uso de un gen o de un virus como plantilla conduciría a la formación de una molécula no con una estructura idéntica sino con una complementaria. Puede suceder, por supuesto, que una molécula pudiese ser al mismo tiempo idéntica y complementaria con la plantilla en que es moldeada. Sin embargo, me parece muy poco probable que este caso sea válido en general, excepto de la siguiente manera. Si la estructura que sirve como una plantilla (el gen o la molécula viral) está formada de, digamos, dos partes, que son ellas mismas complementarias en su estructura, entonces cada una de estas partes puede servir como el molde para la producción de una réplica de la otra parte, y el complejo de dos partes complementarias puede servir por tanto como el molde para la producción de duplicados de él mismo». Ocho años más tarde, los dos filamentos fueron identificados como polinucleotidos (moléculas de ADN) no en Pasadena, sino en Cambridge, por Watson y Crick, con la ayuda de Jerry Donohue. Donohue, la única persona a la que Watson y Crick agradecían en su primer artículo, había pasado varios años en el departamento de química del California Institute of Technology, y sabía mucho más sobre enlaces de hidrógeno y moléculas conjugadas, como las de las purinas y piramidinas del ADN, que Watson o que Crick.[80] Y añadía, en una manifestación que muchos considerarán exagerada: «Éste fue el comienzo de la era del ADN en la biología; la biología se había convertido finalmente en una rama de la química».

James Watson en el Cavendish

James Watson nos apareció por primera vez cuando me ocupaba de Max Delbrück, como discípulo de Salvador Luria y joven miembro del Grupo de los Fagos, pero ya es el momento de presentarlo adecuadamente.

Watson, al contrario de la mayoría de los personajes a los que últimamente me he estado refiriendo, era biólogo de formación, no físico ni químico; sin embargo, también cayó en las redes del libro de Schrödinger. «Siendo un estudiante no graduado de Chicago», se lee en uno de sus escritos de carácter general, «ya había decidido dedicarme a la genética, aunque mi formación formal era insignificante... Al principio me interesó la biología de poblaciones, pero desde el momento en el que leí *What is Life?* de Schrödinger, me orienté hacia resolver el secreto del gen.»[81] De hecho, como ya se ha mencionado, Luria era profesor en la Universidad de Indiana, Bloomington, no en Chicago, donde había estudiado Watson, así que podemos preguntarnos cuál fue el motivo que le indujo a abandonar Chicago e ir con Luria a Indiana. La respuesta, en palabras del propio Watson, es la siguiente:[82] «[Fue] en el apartamento de Luria [donde] vi por primera vez a Max Delbrück, que se había detenido en Bloomington un día. Su visita me excitó, ya que el papel prominente de sus ideas en *What is Life?* hizo de él en mi mente una figura legendaria. De hecho, mi decisión de trabajar con Luria la tomé tan rápidamente porque sabía que él y Delbrück habían hecho juntos experimentos sobre fagos y eran amigos íntimos». Sus planes dieron fruto ya que terminó por formar parte del círculo de relaciones de Delbrück, y a través de sus miembros conoció a otros protagonistas de la historia del ADN, como Linus Pauling. Asimismo es relevante mencionar que uno de los miembros del círculo de los fagos, y participante frecuente de las reuniones que ese grupo celebraba en Cold Spring Harbor, fue un físico que ya apareció en este libro, Leo Szilard. Figura prominente, como sabemos, en el establecimiento del Proyecto

Manhattan, tras el final de la Segunda Guerra Mundial Szilard abandonó (como Crick) la física para dedicarse a la biología. En el «Prólogo» que escribió para *The Collected Works* de Szilard, Jacques Monod (1910-1976), otra gran figura de la biología molecular, lo presentaba de la siguiente manera, refiriéndose a cuando lo conoció en 1947:[83]

> Szilard era ya entonces un científico famoso, que había trabajado en termodinámica al igual que en física nuclear, que con Einstein había lanzado el Proyecto Manhattan y trabajado en él durante la guerra, y que entonces se había convertido en un extraordinariamente activo y exitoso *lobbyist* en Washington, antes de que, por último, fuese capaz de pasarse a un campo que le había atraído y fascinado años antes: la biología.
>
> A menudo he preguntado a Leo por qué, siendo un físico tan sobresaliente había decidido abandonar la física para convertirse exclusivamente en un biólogo. Normalmente solventaba la pregunta con: «¿No crees que la biología es interesante?», decía, por ejemplo. O expresaba su malestar con las grandes máquinas y proyectos colosales.
>
> Personalmente, creo que existía una razón más significativa y profunda, que tiene que ver con sus primeros trabajos sobre la termodinámica de los demonios de Maxwell...

Sea cual fuese el motivo por el que Szilard se pasó a la biología, el hecho es que lo hizo, y que al margen de ofrecer un ejemplo más de «la conexión física» en el desarrollo de la biología de la segunda mitad del siglo XX, aunque en este caso no directamente relacionada con el descubrimiento de la estructura del ADN, resulta que, como veremos enseguida, aunque muy de pasada, Szilard ayudó a Watson en un acontecimiento decisivo en su vida: trasladarse a Europa.

A comienzos del otoño de 1949 se planteó la cuestión de dónde ampliaría estudios Watson una vez logrado su doctorado. He aquí como él mismo relató este apartado de su biografía:[84]

> Europa parecía el lugar natural ya que, en el círculo Luria-Delbrück, la constante referencia a sus vidas de jóvenes

> [recordemos que Luria era italiano y Delbrück alemán] me dejó con la inequívoca impresión de que el más reposado ritmo de la tradición europea era más adecuado para la producción de ideas de primer orden. Me vi así urgido a ir al laboratorio de Herman Kalckar en Copenhague, ya que en 1946 éste había tomado la dirección de los fagos y ahora quería estudiar su reproducción. Aunque Kalckar era sin ninguna clase de duda un bioquímico, a través de su hermano [Fritz Kalckar] conocía a Bohr y por ello era receptivo a la necesidad de razonamientos con un gran contenido teórico. Todavía mejor, el interés de Kalckar por la química de los nucleótidos debería ser aplicable inmediatamente a la agrupación de nucleótidos en el ADN. La decisión se tomó finalmente a principios de noviembre, cuando casualmente Kalckar y Delbrück pasaron un fin de semana en Chicago para ir juntos a una reunión sobre fagos organizada por Szilard.

Vemos cómo aparece aquí Szilard, aunque, es cierto, en un papel muy marginal.

Gunther Stent (1924-2008), otro *fago man*, un alemán que había emigrado desde Berlín a comienzos de la década de 1930 y que se había doctorado en química-física en Chicago, y otro de los fascinados por el libro de Schrödinger, también había escogido Copenhague, «de manera», continuaba Watson, «que Kalckar se encontró con dos personas de los fagos menos interesados en bioquímica de lo que había esperado. Al mismo tiempo, cuando ya pudimos seguir las palabras de Kalckar, era evidente que no estaba centrado en el problema de la replicación de genes... Afortunadamente, Ole Maal¢e, amigo íntimo de Kalckar, había sido mordido por el gusanillo de los fagos... [así que] Stent y yo empezamos a trabajar en su laboratorio».[85] Allí Watson continuó trabajando en fagos, pero Maal¢e quería ir a Caltech el otoño siguiente, con lo que tenía que encontrar un nuevo lugar en Europa para el curso siguiente. «Escribí por tanto a Luria acerca de mi dilema, indicando preferencia por Inglaterra y mencionando a [Frederick Ch.] Bawden y [Norman W.] Pirie, a ninguno de los cuales yo conocía personalmente. En su contestación, Luria me llamó al orden por indolencia, diciéndome que debería utilizar mi

tiempo para aprender la física y química necesarias para hacer algo verdaderamente importante. Claramente, mi período en Copenhague no se estaba desarrollando como Luria quería. En lugar de aprender algo nuevo, Stent y yo estábamos simplemente transfiriendo a Dinamarca el espíritu del grupo de los fagos. El resultado neto sería que terminaría realizando trabajos rutinarios sobre fagos, y que para esto sería mejor para mí estar en Estados Unidos.»

Unos meses más tarde, Luria le respondió más cordialmente cuando Watson le sugirió que quería ir a trabajar con el grupo de Perutz en el Laboratorio Cavendish, «para trabajar en estructuras de ADN y los virus de plantas... Inmediatamente después de que recibiese mi carta, se encontró con John Kendrew en Ann Arbor y puso en marcha los acontecimientos que me llevaron a Cambridge y a Francis Crick».

De esta manera, efectivamente, se inició el paso final que condujo a James Watson al Laboratorio Cavendish y al descubrimiento de la estructura del ADN.

El descubrimiento de la estructura en doble hélice del ADN

Reconstruir con detalle la cadena de acontecimientos, la concatenación de ideas que condujeron a que Watson y Crick propusieran en su memorable artículo de 1953 la estructura en doble hélice del ADN, me exigiría demasiado espacio. Muchas de las principales claves que les permitieron dar semejante paso ya han aparecido. Únicamente resta mencionar algunos elementos más.

En primer lugar figura «jugar» con modelos tridimensionales. En este sentido, la lectura de *The Double Helix* de Watson es aleccionadora. «Por lo general, intentaba resolver el misterio de las bases cuando, a hora avanzada, regresaba a mi habitación», se lee allí. «Empecé a dibujar pequeños diagramas de las bases en hojas de papel de carta del Cavendish. Mi propósito era disponer las bases en el centro, de forma tal que las cadenas del exterior fuesen completamente regulares, esto es, dando grupos a

los grupos azúcar-fosfato de cada nucleótido idénticas configuraciones tridimensionales.»[86] Y así, «mientras estaba dibujando los anillos de adenina en un papel» comprendió «de pronto las profundas implicaciones que podían derivarse de una estructura del ADN en la que el radical adenina formara enlaces de hidrógeno similares a los hallados en los cristales de adenina pura».[87]

Sin entrar en cuánto de correcto había en tales ideas, lo que deseo resaltar es que la búsqueda de un nuevo modelo, de una forma no muy diferente a la que en ocasiones había utilizado Pauling, desempeñó un papel importante en el descubrimiento de Watson y Crick. Como también lo desempeñaron las imágenes de difracción de rayos X obtenidas por un miembro del grupo de John Randall en el King's College de Londres: Rosalind Franklin (1920-1958), que propiciaron la generación del modelo de doble hélice.

Franklin había estudiado química y física en Cambridge, en donde se graduó en 1941. Tras unos años en los que aplicó sus conocimientos químico-físicos en la industria, en 1947 se trasladó a París, al Laboratoire Central des Services Chimiques de l'Etat, donde aprendió las técnicas de difracción de rayos X. En enero de 1951 abandonó París por el grupo de Randall en el King's College de Londres, grupo financiado por el MRC. Fue en el King's, interaccionado muy poco con el físico Maurice Wilkins, que dirigía la Unidad de Investigaciones Biofísicas del departamento de Randall y que se había adentrado desde hacía tiempo en el estudio de la estructura de la molécula del ADN, donde Franklin obtuvo (mayo de 1952) las primeras imágenes de difracción de alta resolución de cristales de fibras de ADN, en particular la famosa de la forma B del ADN (fotografía 51), que Wilkins enseñó, sin que Franklin lo supiera, a Watson, y que disparó la imaginación de Watson y Crick. En su autobiografía, Wilkins explicó cómo es que disponía de aquella fotografía:[88]

> Un día de enero [el 30] de 1953, Raymond [Gosling] me encontró en el pasillo y me pasó un excelente esquema de la

> forma B [del ADN; la fotografía 51] que Rosalind había obtenido. Que me enseñase de esta manera semejantes datos en bruto era algo sin precedentes. Raymond me dejó claro que me quedase con la fotografía... Hacía poco que me había aliviado saber que Rosalind iba a abandonar nuestro laboratorio por un puesto en Birkbeck College y que estaba terminando su trabajo.[89] Supuse que el que me enseñasen el esquema estaba relacionado con su plan de dejar el laboratorio y que me estaba pasando los datos de manera que continuara lo que ella y Raymond habían hecho. Raymond me dio a entender que Rosalind me pasaba el esquema para que lo utilizase como quisiese.

Raymond Gosling (1926-2015) era un joven científico que había estudiado física en el University College de Londres, graduándose en 1947. A continuación trabajó hasta 1948 en el Hospital King's Fund y Middelesex, desde donde se trasladó al King's College, investigando primero bajo la supervisión de Wilkins y después de Franklin con quien obtuvo algunas de las mejores imágenes del ADN utilizando la difracción de rayos X.

Asimismo fue muy importante que Watson y Crick dispusieran de datos de un informe no confidencial presentado por Randall en una reunión de un comité nombrado por el MRC al que también asistió Perutz, que fue quien luego informó a Watson y Crick.[90] Pero no es éste el lugar de entrar en la siempre espinosa y resbaladiza cuestión de prioridades o espionajes. Acaso Franklin no habría sido capaz de imaginar la estructura en doble hélice, si hubiese seguido su camino sin competencia, pero también hay que tener en cuenta que si Franklin no se hubiese opuesto a colaborar con Wilkins —además de tratarle despectivamente—, es posible que el grupo del King's se hubiese adelantado a Crick y Watson.[91] Raymond recordó el ambiente que reinaba en el King's de la siguiente manera:[92]

> Incluso antes de la impresionante revelación del modelo de Watson y Crick del ADN en el Cavendish, la atmósfera en el King's había llegado a ser de una turbulencia reprimida, debido

a la tensión entre Rosalind y Maurice. Con reluctancia, Randall había decidido que Rosalind debía abandonar el King's. Por su parte, Rosalind ya había hablado con Bernal en el Birkbeck para trabajar en la estructura del virus del mosaico del tabaco. Randall hizo que fuese posible una transferencia sin problemas de su beca Turner- Newall y estableció marzo de 1953 como el momento de su salida.

En cualquier caso, de lo que no hay duda es de la importancia de los trabajos de Rosalind Franklin en el descubrimiento de los dos investigadores del Cavendish.[93] Y también es un hecho que Rosalind Franklin no tuvo oportunidad de recibir su parte del éxito, ya que falleció de un cáncer de ovario en abril de 1958, a la edad de treinta y siete años. Cuatro años más tarde Watson, Crick y Wilkins recibieron el premio Nobel de Medicina y Fisiología (el mismo año que, como ya señalé, recibieron el de Química Perutz y Kendrew).

En *The Double Helix* Watson comentó extensamente las circunstancias que rodearon el descubrimiento de la estructura del ADN, aunque, obviamente, desde su perspectiva e interpretación personal (más adelante volveré a algunos de los comentarios que hacía allí). Más ecuánime fue Crick, aunque, cierto es, mucho tiempo después, en una reunión en la que se celebró el cuarenta aniversario del descubrimiento. Merece la pena, en cualquier caso, reproducir algo de lo que dijo en aquella ocasión:[94]

> En primer y más importante lugar, debo recordar a Rosalind Franklin... Fue Franklin quien mostró claramente la existencia de dos formas de ADN, la forma A y la B. Fue Rosalind quien con gran esfuerzo determinó la densidad, las dimensiones celulares exactas y la simetría de la forma A, evidencia que sugirió muy firmemente que la estructura tenía dos cadenas (y no sólo una [como pensaba Pauling]), que circulaban en direcciones opuestas. Y tenemos que saludar también a Maurice Wilkins, no sólo por iniciar los experimentos sobre la estructura del ADN en el King's College de Londres, sino también por muchos años de duro trabajo, después de que Rosalind dejara el King's, con el que demostró que las imágenes de difracción de rayos X de fibras de ADN se ajustaban a variantes del modelo

> de doble hélice... En el lado químico, no habría sido posible construir modelos correctos sin la fórmula química general del ADN, determinada sobre todo por el trabajo de lord Todd [Alexander R. Todd (1907-1997)] y sus colegas. Pero quizá la información más vital fue suministrada por el cuidadoso trabajo de Erwin Chargaff, que le condujo a su regla de las cantidades relativas de las cuatro bases. Igual de fundamental fue el artículo de Avery, MacLeod y McCarty demostrando que el factor de multiplicación del neumococo estaba hecho casi con seguridad de ADN. Otra clave importante fue suministrada por [John Masson] Gulland [1898-1947], cuyo trabajo en la curva de análisis volumétrico del ADN sugirió, aunque no demostró, que el ADN en solución se mantenía unido por enlaces de hidrógeno.

En efecto, los resultados obtenidos por el bioquímico austríaco Erwin Chargaff (1905-2002) fueron especialmente importantes. Tras obtener su doctorado en química por la Universidad de Viena en 1928, Chargaff se trasladó a Norteamérica, a la Universidad de Yale; regresó en 1930 a Europa, primero a la Universidad de Berlín y después (1933), al Instituto Pasteur de París. En 1935, se afincó definitivamente en Estados Unidos, en la Universidad de Columbia (Nueva York), donde en 1952 se convirtió en catedrático (*full professor*) de bioquímica.

Atraído al ADN por los trabajos de Avery, Chargaff consiguió aislarlo de núcleos de células y romper las moléculas en sus constituyentes, para, utilizando luz ultravioleta y un tipo de análisis cromatográfico, identificar las cuatro bases que constituyen el ADN: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). Como cada una de estas bases absorbe luz ultravioleta de longitud de onda específica, fue capaz de determinar (midiendo la cantidad de luz absorbida por cada base) la cantidad presente en el ADN. Y lo que encontró es que, aproximadamente, existía la misma cantidad de adenina que de timina, y la misma de guanina que de citosina, unas relaciones que se conocen como las «reglas de Chargaff».[95] «Es digno de señalar —y si es accidental o no es algo que no se puede decir—», escribía Chargaff en el artículo en que presentó sus resultados, «que

en todos los ácidos nucleicos de desoxipentona examinados hasta el momento, los cocientes molares entre las purinas totales y las pirimidinas totales, y también entre la adenina y la timina y entre la guanina y la citosina, no estén lejos de 1.»[96]

Con estos elementos podemos comprender la estructura molecular que Watson y Crick propusieron en 1953 para la molécula de ADN. Una estructura en la que el ADN está constituido por dos cadenas helicoidales (la doble hélice) unidas entre sí, cada una de las cuales alberga cuatro compuestos químicos, combinaciones de carbono, nitrógeno, hidrógeno y fósforo, las ya citadas bases A, G, C y T. Éstas forman secuencias determinadas sobre cada hélice, pero de tal manera —según exigían las leyes de Chargaff— que la T de una cadena se asocie a la A de la otra, y la G a la C. Cualquier otro emparejamiento está prohibido. Semejante estructura sugiere inmediatamente un posible mecanismo celular reproductivo: en un momento dado de la vida de una célula, la doble hélice se escinde en dos hélices sencillas, que al captar en el medio en que se encuentran los elementos químicos necesarios, reconstruyen la doble hélice de una forma, en principio, perfectamente fiel, debido a la ley de Chargaff de emparejamiento de las bases.

Watson y Crick (el orden de aparición de los nombres en el artículo lo determinaron por sorteo) publicaron su propuesta en una escueta nota (de una página en total) en el número del 25 de abril de 1953 de la revista *Nature*. Se titulaba «Estructura molecular de los ácidos nucleicos. Una estructura para el ácido desoxirribonucleico».[97] En él incluían una frase, luego famosa, relativa al mecanismo de la herencia al que he aludido: «No se nos escapa que el emparejamiento específico que hemos postulado sugiere de inmediato un posible mecanismo de copia para el material genético».

Inmediatamente después del artículo de Watson y Crick, aparecían dos más: uno firmado por Maurice Wilkins, junto a Alec R. Stokes y Herbert R. Wilson, que a su vez

precedía a otro de Rosalind Franklin y Raymond G. Gosling, un detalle que fácilmente se podía entender como un orden jerárquico.[98]

Poco más de un mes después, en el número del 30 de mayo de *Nature*, Watson y Crick publicaron un artículo algo más —no mucho— extenso: «Implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico».[99] En él se extendían más sobre los posibles mecanismos hereditarios:

> El esqueleto fosfato-azúcar de nuestro modelo es completamente regular, pero cualquier secuencia de pares de bases puede encajar en la estructura. Ello permite que en una molécula larga sean posibles muchas permutaciones diferentes, y por tanto parece probable que la secuencia precisa de las bases sea el código que porta la información genética. Si fuera dado el orden real de las bases de una de las cadenas del par, podríamos anotar el orden exacto de las bases de la otra cadena, a causa de la especificidad del emparejamiento. Así, una cadena es, como si dijéramos, el complemento de la otra, y es este hecho el que sugiere cómo puede autorreplicarse la molécula de ácido desoxirribonucleico.
>
> Discusiones previas sobre la autorreplicación han involucrado, con frecuencia, el concepto de una plantilla, o molde. Se ha supuesto que bien el molde se autocopia directamente o se produce un «negativo» que, a su vez, sirviera de plantilla para producir de nuevo el «positivo». En ningún caso se ha explicado en detalle cómo ocurriría esto en términos de átomos y moléculas.
>
> Ahora, nuestro modelo de ácido desoxirribonucleico es, en efecto, un *par* de moldes, cada uno de los cuales es complementario del otro. Imaginamos que, previamente a la duplicación, los enlaces de hidrógeno se rompen, y las dos cadenas se desenrollan y separan. Cada cadena actúa como una plantilla para la formación, sobre ella misma, de una nueva cadena compañera; así que, de hecho, tendremos *dos* pares de cadenas donde, antes, teníamos sólo una. Más aún, la secuencia de los pares de bases se habrá duplicado con exactitud...
>
> Dado que las dos cadenas en nuestro modelo están enrolladas entre sí, es esencial que se desenrollen si han de separarse. Como completan una vuelta entre ellas en 34 Å, habrá cerca de 150 pasos de rosca por millón de peso molecular, así que cualquiera que sea la estructura precisa del cromosoma necesitará una cantidad considerable de desenrollamiento. Se

> conoce, por estudios de microscopía, que enrollamiento y desenrollamiento ocurren durante la mitosis, y aunque ello ocurre a una mayor escala probablemente refleja procesos similares a nivel molecular. Aunque es difícil por el momento observar cómo ocurren estos procesos, no percibimos que tal objeción sea insuperable.

Efectivamente, fue posible estudiar experimentalmente tales procesos. El experimento en cuestión, conocido en la actualidad como «el experimento más bello de la biología», fue realizado en 1958 por Matt Meselson, un antiguo alumno de Linus Pauling, y Frank Stahl, utilizando una máquina ultracentrifugadora.[100] Sus resultados confirmaron las previsiones del modelo de Watson y Crick.

Crick explica a su hijo el descubrimiento de la estructura del ADN

El 15 de marzo de 1953, por consiguiente, más de un mes antes de la publicación del artículo en *Nature*, Francis Crick escribió una carta a su hijo Michael, de trece años, que estaba con gripe internado en su escuela:[101]

> Mi querido Michael:
>
> Jim Watson y yo hemos hecho probablemente un descubrimiento muy importante. Hemos construido un modelo para la estructura del ácido desoxirribonucleico (léelo con cuidado), abreviado ADN. Recordarás que los genes de los cromosomas —que transportan los factores de la herencia— están formados por proteínas y ADN.
>
> Nuestra estructura es muy bella. Se puede pensar en el ADN aproximadamente como una cadena muy larga con puntas planas que salen de ella. Las puntas planas se llaman «bases».

A continuación, Crick esbozaba, utilizando también un dibujo, la estructura del ADN, y añadía:

> Creemos que el ADN es un código. Esto es, el orden de las bases (las letras) hace a un gen diferente de otro gen (al igual que una página impresa es diferente de otra). Ahora puedes ver

cómo la Naturaleza hace copias de los genes. Porque si se desenrolla en dos cadenas separadas, y si cada cadena hace que se le una otra cadena, entonces como A siempre va con T, y G con C, obtendremos dos copias donde antes había una.

En otras palabras, pensamos que hemos encontrado el mecanismo básico de copiado mediante el cual la vida procede de la vida. La belleza de nuestro modelo es que su forma es tal que solamente estos pares se pueden unir, aunque podrían emparejarse de otras maneras si flotaran libremente. Puedes comprender que estemos muy excitados. Tenemos que enviar una carta a *Nature* dentro de un día o así. Lee esto con cuidado de forma que lo comprendas. Cuando vengas a casa te mostraré el modelo.

Con mucho amor

Papá

La carta manuscrita de Crick ocupaba siete páginas. El 10 de abril de 2013 fue subastada en Christie's de Nueva York. Fue adquirida por 6.059.750 dólares. Superó ampliamente los 3.400.000 dólares que se habían pagado en abril de 2008 por una carta de Abraham Lincoln.

Opiniones de Linus Pauling sobre el premio Nobel a Watson y Crick

Ya señalé que en 1962 Watson, Crick y Wilkins recibieron el premio Nobel de Medicina o Fisiología, mientras que Perutz y Kendrew obtenían el de Química. Hacía tiempo que era previsible que los trabajos de estos cinco investigadores fueran premiados con el Nobel y no es sorprendente que se estuviera considerando esta posibilidad. Disponemos de una buena muestra en este sentido a través de dos cartas de Linus Pauling. La primera está fechada el 15 de diciembre de 1959, y en ella Pauling respondía a otra de William Lawrence Bragg en la que preguntaba su opinión sobre la concesión del premio Nobel de Química por aquellos trabajos:[102]

Querido Bragg:

He estado considerando con mucho gusto el asunto planteado

en su carta del 9 de diciembre.

Con respecto a Perutz y Kendrew, debo decir que la nominación para un premio Nobel me parece prematura. El trabajo está adquiriendo más y más relevancia, pero los artículos más significativos aún no se han publicado. Incluso después de su publicación tendrá que pasar algún tiempo antes de que se pueda conseguir evaluarlos. Espero con interés la publicación de los artículos que menciona en el resumen de sus trabajos.

El trabajo de Watson y Crick pertenece a una categoría diferente, y estaría dispuesto a escribir una carta de recomendación para su nominación a un premio Nobel. Sin embargo, me parece que su trabajo constituye una contribución al campo de la biología, más que a la química, y creo que sería apropiado que se les concediese un premio Nobel de Fisiología o Medicina, en lugar de un premio Nobel de Química.

Con respecto a la difracción de rayos X y la química, tengo una propuesta que hacerle, y me gustaría conocer su opinión sobre ella. Me gustaría proponer a Dorothy Hodgkin y J. M. Bijvoet para un premio Nobel de Química, que se divida entre ellos. El premio sería por la utilización que han hecho de la difracción de rayos X en la solución de problemas químicos, la determinación de la estructura de la penicilina y cobalamina, en el caso de Dorothy Hodgkin, y la determinación correcta de las configuraciones de moléculas asimétricas, en el caso de Bijvoet. ¿Apoyaría usted esta propuesta?

La segunda carta la dirigió Pauling al Comité del Nobel para Química (con copia a Bragg), el 15 de marzo de 1960:

Señores:

El Profesor Sir William Bragg me ha enviado una copia de su nominación de J. D. Watson, F. H. C. Crick y M. H. F. Wilkins para el premio Nobel de Química correspondiente a 1960, por sus trabajos sobre la estructura del ácido desoxirribonucleico, y ha sugerido que exprese mi opinión.

La doble hélice con un enlace de hidrógeno para el ADN propuesta por Watson y Crick ha ejercido una muy gran influencia en el pensamiento de los genéticos y otros biólogos, y creo que su idea es valiosa. Mi opinión es que existen pocas dudas de que las moléculas de ácido nucleico tienen una estructura complementaria parecida en su naturaleza general a la propuesta por Watson y Crick, y que la complementariedad

está determinada por la formación de enlaces de hidrógeno. Sin embargo, pienso que la naturaleza detallada de la estructura del ADN es todavía incierta en alguna medida, mientras que las cadenas polipeptídicas de las proteínas son ahora ciertas.

La primera estructura detallada propuesta para los ácidos nucleicos era una estructura en triple hélice, con enlaces de hidrógeno entre los grupos fosfatados, en lugar de entre las bases nitrogenadas. Esta estructura fue propuesta por el profesor Robert B. Corey y por mí en *Proceedings of the U.S. National Academy of Sciences 39*, 84-87 (1953). Watson y Crick dispusieron de este manuscrito antes de su publicación y puede que haya estimulado hasta cierto punto la formulación de su estructura en doble hélice, al igual que las fotografías de rayos X de Wilkins.

La estructura detallada propuesta por Watson y Crick ha sido revisada algo por Wilkins. Además, Corey y yo hemos señalado que es probable que la citosina y guanina formen enlaces con tres hidrógenos, en lugar de dos como proponen Watson y Crick.

Y tras unas líneas en las que añadía algunos comentarios y precisiones sobre la aportación de Watson y Crick, añadía:

Es mi opinión que el conocimiento actual de la estructura de las cadenas polipeptídicas en proteínas es tal que justifica la concesión del premio Nobel en este campo en el futuro cercano, a Robert B. Corey por sus investigaciones fundamentales sobre la estructura molecular detallada de aminoácidos y cadenas polipeptídicas de proteínas, o posiblemente dividido entre él y Kendrew y Perutz. Por otra parte, creo que puede ser prematuro otorgar un premio Nobel a Watson y Crick debido a las incertidumbres existentes sobre la estructura del ácido nucleico. Yo mismo creo que la naturaleza general de la estructura de Watson y Crick es correcta pero que existen dudas acerca de detalles.

Con respecto a Wilkins, puedo decir que reconozco su virtuosismo habiendo crecido mejores fibras de ADN que las que se habían crecido antes y obtenido mejores imágenes de rayos X que las disponibles antes, pero dudo que su trabajo represente una contribución suficiente a la química como para permitirle ser incluido entre los receptores de un premio Nobel.

En un último párrafo, Pauling añadía que lamentaba que W. M. Latimer y W. H. Rodebush hubiesen muerto y que sus contribuciones, de gran importancia para el enlace de hidrógeno en las moléculas de los organismos vivos así como de las sustancias sencillas, en su opinión, les habían hecho merecedores de un premio Nobel de Química.

La carta de Pauling al Comité del Nobel de Química muestra varias cosas, especialmente que ya no parecía estar tan seguro como en la carta anterior de que Watson y Crick merecieran todavía el premio Nobel, pero sí Robert Corey (que trabajaba en su laboratorio y había colaborado con él; de alguna forma, aunque no se atreviera a decirlo, debía de pensar que él, Pauling, también merecía el premio), y que acaso debiera recibirlo compartido (la mitad para él) con Kendrew y Perutz. Otro detalle significativo es que ignoraba que las imágenes de rayos X, que tan importantes habían sido para descubrir la estructura del ADN, no las había tomado Wilkins —a quien no consideraba merecedor del premio Nobel— sino Rosalind Franklin (que había fallecido en abril de 1958).

Sin embargo, a pesar de toda su autoridad, el Comité del Nobel no siguió sus recomendaciones y concedió a Watson, Crick, Wilkins, Perutz y Kendrew los ya citados Premios Nobel. Ni Robert Corey ni Johannes M. Bijvoet recibieron el premio Nobel, sí Dorothy Crowfoot Hodgkin que obtuvo el de Química de 1964 «por sus determinaciones mediante técnicas de rayos X de la estructura de importantes sustancias bioquímicas».

La recepción del artículo de Watson y Crick

Hoy, firmemente instalados en la Era del ADN, tendemos a pensar que el impacto del artículo de Watson y Crick fue inmediato. Sin embargo, no lo fue del todo. Parece que no fueron muchos los que imaginaron lo que llegaría más tarde. De hecho, fueron pocos los que inicialmente prestaron atención, o se esforzaron en seguir la senda que abría su artículo. Si nos fijamos en la revista

Nature (en *Science* los resultados son similares), en la que apareció el trabajo, en los años inmediatamente siguientes a 1953, eran escasos los artículos publicados en ella que citaban ese trabajo, que hoy sin duda y justamente calificamos de revolucionario: 3 en 1954, 7 en 1955, 3 en 1956, ninguno en 1957, 5 en 1958, 3 en 1959 y 1 en 1960.[103] A partir de entonces, los números comenzaron a crecer. La explicación de este comportamiento es que aunque el modelo de la doble hélice sugería muchas posibilidades atractivas, lo que realmente demostraba aún no era demasiado, y además existían cuestiones abiertas especialmente importantes relacionadas con las proteínas. Se sabía que éstas, piezas fundamentales en la regulación de la vida, no se formaban en el núcleo sino fuera de él, en el citoplasma, así que ¿cuál era la relación entre ADN y proteínas?

A nivel individual tenemos que antes incluso de que el 25 de abril de 1953 apareciese el número de *Nature* que incluía el artículo de Watson y Crick, Max Perutz informaba del logro a Harold Himsworth, *professor* de Medicina en la Universidad de Londres y secretario del MRC, en una carta fechada el 6 de abril:[104]

> Le escribo para informarle que en esta unidad Watson y Crick han encontrado la estructura del ácido nucleico que está en concordancia con los datos químicos y de rayos X. El rasgo más atractivo de esta estructura es que sugiere un posible mecanismo de duplicación del material genético durante la división celular.
>
> La estructura es la del ácido desoxirribonucleico (ADN), que es la variedad que se encuentra en los cromosomas. Consiste en dos cadenas moleculares enrolladas entre sí formando una hélice regular. Si se representa, las bases purina y pirimidina forman el pilar central que soporta la estructura, los anillos constituyendo los escalones y los residuos de ácido fosfórico proporcionan las barandillas exteriores. Las dos cadenas se mantienen juntas por enlaces específicos entre ciertas bases purinas en una cadena, con bases pirimidina en la segunda cadena.
>
> Una molécula de ADN puede consistir de varios cientos de miles de «nucleótidos» unidos en una cadena. Cada nucleótido

está formado por una base de azúcar y un residuo de ácido fosfórico. El azúcar y el ácido son los mismos en todos los nucleótidos, pero hay cuatro bases diferentes, y ahora se cree que la secuencia de estas cuatro bases a lo largo de la cadena constituye el código que caracteriza un gen concreto. El rasgo más bello de la estructura de Watson y Crick es que sugiere un mecanismo mediante el cual este código se puede reproducir a sí mismo [...].

Y después de explicar cómo podía suceder esto, pasaba a comentar algunos detalles del trabajo de Watson y Crick:

La estructura la construyeron Watson y Crick basándose en argumentos estereoquímicos y genéticos. También utilizaron datos de rayos X publicados por Astbury y de la unidad del MRC del King's College de Londres, más una cierta cantidad de datos de rayos X no publicados que habían visto o de los que habían sabido en el King's. Todos estos datos de rayos X eran, o bien pobres, o referidos a un tipo diferente de estructura, y aunque indicaban ciertos rasgos generales de la estructura del ADN no proporcionaban una guía para su carácter detallado.

Mientras Watson y Crick estaban construyendo su estructura aquí, Miss Franklin y Gosling en King's obtuvieron imágenes nuevas y muy detalladas del ADN. Watson y Crick sólo supieron de esta fotografía cuando enviaron el primer borrador de su artículo al King's, pero ahora parece que esta nueva fotografía confirma los importantes rasgos de su estructura. De hecho, si no se hubiese encontrado la estructura, probablemente la fotografía habría conducido a Miss Franklin y Gosling a construir el mismo modelo; aunque es difícil saber si habrían llegado a descubrir las ingeniosas relaciones geométricas y químicas entre las dos cadenas complementarias que llevaron a Watson y Crick a la solución del problema.

Creo que este descubrimiento proporcionará un gran estímulo a la interpretación química y estructural de la genética. Personalmente, también estoy muy contento porque este descubrimiento justifica el continuo apoyo del Council [MRC] a Crick a pesar de los fracasos y trastornos iniciales.

La estructura y datos de rayos X que la apoyan se publicarán en forma de tres cartas en *Nature*, una desde aquí y dos desde el King's. Sin embargo, para apreciar la belleza de la idea uno tiene que ver los modelos. Me pregunto si le gustaría a usted venir aquí y verlos; Watson y Crick estarían encantados de

mostrárselos. Yo estaré en Londres el viernes, 17 de abril, y de nuevo el 20 y podría enseñarle algunas imágenes y modelos, si usted estuviera libre.

Otro de los que respondieron positivamente al artículo de Watson y Crick fue un físico un tanto excéntrico, pero de indudable originalidad y rigor: George Gamow (1904-1968). Nacido en Odesa (Ucrania) pero instalado en Estados Unidos desde 1933, por entonces Gamow podía presumir de un currículum notable, no sólo en la física nuclear, su principal especialidad, sino también en cosmología (junto a Ralph Adler y Robert Herman publicó en 1948 un artículo que contenía la predicción de una radiación cósmica de fondo residual, correspondiente a una radiación de un cuerpo negro a la temperatura de 5 grados kelvin). El 8 de julio de 1953 Gamow escribió a Watson y Crick la siguiente carta:[105]

Apreciados doctores Watson y Crick:

Soy físico, no biólogo, y mi interés por la biología sólo puede justificarse, si acaso, por mi libro, recientemente publicado, Mr. Tompkins *Learns the Facts of Life* (Cambridge University Press, 1953). Pero estoy muy entusiasmado por su artículo en *Nature* del 30 de mayo, y pienso que esto hace que la biología se incorpore al grupo de las ciencias «exactas». Planeo estar en Inglaterra durante la mayor parte de septiembre, y espero tener la oportunidad de hablar con ustedes de todo ello, pero quisiera hacerles algunas preguntas ahora. Si su punto de vista es correcto, y estoy seguro de que así es en sus aspectos esenciales, cada organismo estaría caracterizado por un largo número escrito en un sistema cuadrucal (?) en el que los números 1, 2, 3, 4 corresponden a cuatro bases diferentes (o por varios de dichos números, uno para cada cromosoma). Parece, pues, más lógico suponer que las diferentes propiedades (¿genes individuales?) de cualquier organismo concreto no están «localizadas» en puntos definidos del cromosoma, como se supone en la genética clásica, sino que están determinadas por diferentes características matemáticas del número entero. (Algo parecido a los coeficientes de la serie de Fourier.) Por ejemplo, el animal será un gato si la adenina siempre está seguida de la citosina en la cadena del ADN, y la característica de un arenque es que las guaninas siempre aparecen en pares a lo largo de la

cadena... ¡Esto abriría una posibilidad muy apasionante de investigación teórica basada en la combinatoria y la teoría de los números! Sin embargo, no tengo claro de qué manera un punto de vista semejante encajaría con experimentos genéticos, tales como entrecruzamientos, que conducen a la localización de los genes a lo largo de toda la longitud del cromosoma. Pero tengo la sensación de que puede hacerse. ¿Qué piensan ustedes? Por favor, escríbanme a mi dirección particular [doctor G. Gamow, 19 Thoreau Drive, Bethesda, Md]. Estaré allí después del 18 de julio.

Les saluda atentamente

G. Gamow

P. S: Si sólo hay cuatro grupos básicos fijados a la cadena de ADN, ¿por qué son tan específicos los virus a la hora de seleccionar sus patrones?

PS2: Si se pone ADN (extraído de algún animal) en una solución que contenga las cuatro bases, ¿se reproducirá?, y si no, ¿por qué?

A partir de estas ideas —tal vez sería mejor decir, interés, pues el contenido de la carta era muy confuso— Gamow intentó encontrar un conjunto de reglas que permitiera que el alfabeto de cuatro letras (A, G, T, C) del ADN se tradujera en el alfabeto de 20 letras (los aminoácidos) de las proteínas. «Según este modelo», señaló Watson, «las proteínas se ensamblaban partir de los 20 aminoácidos diferentes directamente sobre la superficie de las moléculas de ADN. Supe de inmediato que no había ninguna posibilidad de que esto fuera así porque en las partes de las células en las que se ensamblan las proteínas no se encuentra ADN. En lugar de ello, las superficies sobre las que los aminoácidos están unidos entre sí tienen que ser moléculas de ARN.»[106]

A pesar de que Gamow insistió en sus esfuerzos no logró nada positivo, pero sí entrar en el círculo de los biólogos moleculares. Fue más una anécdota, otro ejemplo del interés que la biología ejerció sobre algunos físicos. Sin embargo, lo que sí es importante es un dato que Watson mencionaba en la última cita: el ARN, el ácido ribonucleico.

The Double Helix*, un libro conflictivo*

En 1968 James Watson publicó su versión del descubrimiento de la estructura del ADN: *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*, aunque inicialmente Watson pretendió titularlo *Honest Jim*.[107] Al contrario que en las reconstrucciones que suelen hacer la mayoría de los científicos de sus aportaciones importantes, en las que domina la argumentación ligada estrictamente a las ideas y desarrollos científicos, en el libro de Watson los científicos aparecían como seres reales, de carne y hueso, con sus miserias y grandezas, sus ambiciones, simpatías y fobias. Particularmente notoria era la forma machista en que caracterizaba a Rosalind Franklin:[108] «Por elección no resaltaba sus cualidades femeninas. Aunque sus rasgos eran duros, no carecía de atractivo y podía haber sido magnífica si hubiera tenido el mínimo interés en cómo vestir. Pero no lo tenía. Nunca hubo carmín en sus labios que contrastase con su liso pelo negro, mientras que a la edad de treinta y un años sus vestidos mostraban toda la imaginación de las adolescentes inglesas que llevaban calcetines azules. Era, en consecuencia, bastante fácil imaginarla como el producto de una madre insatisfecha que indebidamente insistía en lo deseable de carreras profesionales que pudieran salvar a chicas inteligentes de matrimonios con hombres vulgares».

La recepción del libro no dejó de mostrar dudas sobre la justicia de la reconstrucción que hacía en él Watson. Incluso en reseñas tempranas y favorables como la que hizo el distinguido biólogo y notable escritor Peter Medawar (recibió el premio Nobel de Medicina por el descubrimiento de la tolerancia inmunológica adquirida), aparecían alusiones en tal sentido:[109]

> Las autobiografías, al contrario que otras obras literarias, forman parte del propio asunto del que tratan. Sus mentiras, si las hay, son mentiras de sus autores pero no sobre sus autores, que [cuando se descubre que están mintiendo] sólo revelan una verdad sobre ellos mismos, a saber, que son unos mentirosos

[...]. La narrativa de Watson me parece perfectamente convincente. Esto no quiere decir que la asignación de créditos o deméritos sean necesariamente correctos; eso es algo que no se puede decidir de manera abstracta, sino sólo después de que las personas mencionadas en el libro presenten sus versiones, si deciden hacerlo.

De hecho, dos de los protagonistas del descubrimiento de la estructura del ADN, Crick y Wilkins, objetaron a la publicación del libro. En *The Annotated and Illustrated Double Helix*, los editores, Alexander Gann y Jan Witkowski, explicaron lo que sucedió junto a la reproducción de las cartas que se intercambiaron:[110]

Cuando Watson estaba en Ginebra [debió ser en 1966] viajó dos veces a Londres para ver a Bragg, en el primer viaje le dio el manuscrito de *Honest Jim* y en el segundo quería saber si estaría dispuesto a escribir un prólogo. La furia inicial de Bragg al leer cómo Watson le había presentado a él y a otros aparentemente se enfrió comentándolo con su esposa Alice, y llegó a apreciar que lo que Watson había producido era nuevo e interesante. Estuvo de acuerdo en escribir el prólogo, incluso manifestando en broma que al hacerlo perdería la oportunidad de acusarle de libelo.

La importancia de conseguir que Bragg escribiera el prólogo fue inmensa y no le pasó desapercibida a Watson. Si no lo hubiese logrado, las posibilidades de que el libro nunca se hubiera publicado eran grandes, especialmente si Bragg hubiera unido fuerzas con Crick y Wilkins quienes, como veremos, llegarían a objetar con intensidad a la publicación del libro.

Fue entonces cuando Watson envió un borrador completo a Crick para que lo comentase. En este punto las quejas de Crick se restringieron sobre todo a materias de hecho, aunque incluso en su primera respuesta dejó claro que «esto no quiere decir que yo esté de acuerdo con el resto del manuscrito; hay bastantes juicios que creo falsos y que no son materias de hecho» [31 de marzo de 1966].

Sin embargo, parecía que su preocupación era mejorar la precisión del manuscrito y no objetar en principio a que se publicase. Pensaba que *Honest Jim* era la engreída impresión de que sólo Watson, de entre ellos, ofrecía la honesta verdad. Pero cuando se manejó otro título alternativo —*Base Pairs*— sus objeciones fueron incluso mayores (27 de septiembre de 1966):

«Estoy seguro de que verás que todos nos identificarán a los dos como al menos uno de los pares y no veo por qué yo debería tener un libro publicado en el que soy descrito como "base"». De hecho, enfrentado a esta alternativa, su opinión del título original se suavizó considerablemente, aunque fuese ligeramente sarcástica: «Personalmente, pensaba que el título "Honest Jim" era excelente; no puedo encontrar ninguna razón por la que no desearas que te llamaran "honesto"... Sería mejor que pensases en otro [título] o volvieras a "Honest Jim"». A la editorial tampoco le gustaron estos títulos y al final Watson aceptó su sugerencia del menos colorido *The Double Helix*.

La naturaleza de las críticas de Crick cambió drásticamente sólo una semana después de su carta sobre el título. El foco ya no era modificar el manuscrito. Ahora estaba en contra de que se publicase. El cambio de actitud fue impulsado probablemente por una visita a Maurice Wilkins, que también había visto el borrador. Wilkins estaba en contra de la publicación y presumiblemente descubrir una indignación común animó a cada uno a adoptar una línea más dura con Watson. Y el 3 de octubre Crick escribió de nuevo a Watson:

«He mirado de nuevo tu libro, y al estar menos ocupado que cuando me enviaste la anterior versión en la primavera he tenido tiempo de reflexionar sobre todo el asunto. También lo he discutido con Maurice. Con reluctancia, he llegado a la conclusión de que no puedo estar de acuerdo con su publicación. Tengo dos razones para esto. La primera ya te la esbocé. Hay mucho cotilleo y el contenido intelectual es demasiado bajo. La segunda razón es que, como sabes, he evitado bastante la publicidad personal en los últimos años. Y si estuviera de acuerdo con la publicación de tu libro no podría seguir haciendo esto [...].

»Finalmente debería señalarte que tu libro, lejos de beneficiar a la ciencia, puede de hecho hacerle daño al establecer un muy peligroso precedente. La gente se pensará dos veces trabajar juntos si narraciones altamente personales de su colaboración pueden ser publicadas. Creo que la regla no escrita de desanimar a los científicos a hacer esto es sabia.»

Watson respondió, pero no es necesario continuar ahondando en los intercambios entre ambos. *The Double Helix* se publicó y su éxito fue grande; de hecho, continúa reeditándose. Y en cuanto al «precedente» al que se refería Crick, ciertamente que encontró numerosos seguidores

entre los científicos, pero en realidad se ha tratado del «espíritu del tiempo», un tiempo en el que muchos científicos buscan no sólo distinguirse con sus investigaciones sino también obtener reconocimiento social. Son legión los libros escritos por científicos en los que ellos adoptan protagonismo en la narración.

Un científico que mostró su repulsa al libro de Watson fue el bioquímico e historiador de la ciencia de la Universidad de Yale Joseph Fruton, quien lo juzgó como sigue en uno de sus libros:[111]

> En mi primera lectura de *The Double Helix*, para mí el rasgo más llamativo fue su amoralidad. La desvergonzada descripción del esfuerzo de Watson por tener éxito en la década de 1950 habría sido, en mi opinión, menos deplorable si, en su madurez, hubiera reconocido más generosamente que lo que Crick y él habían logrado debía mucho a los trabajos publicados de otros científicos. Se puede argumentar que si lo hubiese hecho, Watson habría disminuido la cualidad dramática de su historia y que habría sido un hipócrita ocultando su ignorancia y sus menos que admirables actividades en busca de renombre. Como alguien que ha conocido muchos jóvenes bioquímicos americanos, estaré de acuerdo fácilmente en que sus aspiraciones van a menudo acompañadas por el tipo de comportamiento que describe Watson. También estaré de acuerdo en que semejante comportamiento no era raro, pero en un grado menor, en algunas áreas de investigación científica con anterioridad a la Segunda Guerra Mundial.

El ARN y el *Dogma Central* de la biología molecular

Ya señalé que uno de los problemas que se hacía evidente después del artículo de Watson y Crick era el de la relación entre el ADN y las proteínas, y en este punto entra en acción el ARN. Las primeras evidencias de que el ARN tenía algo que ver con la formación de las proteínas se encontraron a finales de la década de 1930 y comienzos de la de 1940, cuando el sueco Torbjörn Caspersson (1910-1997) y el belga Jean Brachet (1909-1988) encontraron independientemente que los cromosomas eran

de naturaleza similar a la de los ácidos nucleicos, mientras que el citoplasma era muy rico en ácido ribonucleico; más aun, la abundancia de ARN era proporcional a la actividad metabólica de las células, esto es, a su actividad de síntesis de proteínas, y que el ADN aumentaba proporcionalmente a la división celular.[112] Fueron unos trabajos menos conocidos que los de Avery, pero que visto retrospectivamente no poseen menos importancia. Dejando de lado otras investigaciones relevantes señalaré que, en 1956, y sabiendo por investigaciones precedentes que existía ARN en el virus del mosaico del tabaco, Heinz Fraenkel-Conrat demostró que el ácido ribonucleico de esta planta era el material infeccioso del virus.[113] A estos desarrollos se refería Watson cuando escribió, medio siglo después:[114]

> En aquella época [*circa* 1953] no estaba clara la función exacta del ARN en el enigma bioquímico de la vida. En algunos virus, como el del mosaico del tabaco, parecía desempeñar un papel similar al del ADN en otras especies, codificando las proteínas específicas de ese organismo. Y en las células, el ARN tenía que intervenir de algún modo en la síntesis proteica, ya que en las células que fabrican muchas proteínas había abundancia de ARN. Aun antes de que descubriéramos la doble hélice, yo pensaba que probablemente la información genética del ADN cromosómico se utilizaba para fabricar cadenas de ARN de secuencias complementarias. Estas cadenas de ARN servían, a su vez, de modelos que especificaban el orden de los aminoácidos en sus respectivas proteínas. En ese caso, el ARN era un intermediario entre el ADN y la proteína. Posteriormente, Francis Crick se referiría a este flujo de información ADN® ARN® proteína como el «dogma fundamental». La idea se vio pronto respaldada por el descubrimiento en 1959 de la enzima ARN polimerasa, que cataliza en prácticamente en todas las células la producción de cadenas de ARN de un solo filamento a partir de modelos de ADN de dos filamentos.

En 1957, efectivamente, Crick pronunció una conferencia (cuyo texto apareció publicado el año siguiente) en la Sociedad Británica de Biología

Experimental, en la que sentó las bases de lo que se denominaría «el dogma central de la biología molecular».115 Sus postulados básicos eran los siguientes:116

1. El ADN, que contiene la información genética necesaria para construir un organismo en forma de una secuencia continua de nucleótidos, es capaz de replicarse (o duplicarse). Esta propiedad del ADN permite que cada nueva célula, que proviene de una anterior, reciba una réplica exacta de ese ADN y, por tanto, se perpetúe a lo largo de sucesivas generaciones.
2. La información genética presente en el ADN se copia en forma de ARN para que, utilizando la maquinaria de síntesis de proteínas, se traduzca mediante el código genético en las distintas proteínas que realizan los trabajos específicos de cada célula.
3. El flujo de información genética siempre es unidireccional en el sentido de ADN a ARN y de éste a proteína, salvo que, como se ha dicho, la información presente en el ADN puede replicarse en más ADN.

Expresado gráficamente, la conexión que promulgaba Crick era:

ADN → ARN → Proteína

Sin embargo, esta concatenación no resultó completamente cierta. Trabajando independientemente, David Baltimore (MIT) y Howard Temin (Universidad de Wisconsin) demostraron que la información hereditaria podía transmitirse también en un sentido inverso: del ARN al ADN, con lo que la relación anterior pasaba a ser:

ADN ↔ ARN → Proteína

Más concretamente, lo que Baltimore (n. 1938) y Temin (1934-1994) demostraron es que determinados virus (tumorales, u oncogénicos) que contenían ARN como

material genético, poseían una enzima denominada retrotranscriptasa (o transcriptasa inversa), capaz de copiar ARN para dar lugar a ADN.[117] Este descubrimiento tuvo posteriormente un impacto inmenso. La enzima implicada, la retrotranscriptasa, hizo posible la fabricación de proteínas específicas para su uso en medicina. Baltimore y Temin recibieron el premio Nobel de Medicina en 1975 (compartido con el especialista en virus de origen italiano Renato Dulbecco),[118] «por sus descubrimientos relativos a la interacción entre virus tumorales y el material genético de la célula». Baltimore ha sido una de las figuras más influyentes en el dominio de la biología molecular (fundó el Whitehead Institute en el MIT, fue presidente de la Rockefeller University, cargo del que dimitió en diciembre de 1991 tras verse implicado en un desagradable incidente de falsificación de datos por parte de una colaboradora suya en un artículo firmado conjuntamente. Permaneció en la Rockefeller hasta la primavera de 1994, cuando regresó al MIT, y en mayo de 1997 fue presidente del California Institute of Technology).[119]

Las ideas de Crick con su «Dogma Central» (que revisó tras los resultados de Baltimore y Temin) eran, en cualquier caso, ideas sugerentes, pero todavía quedaba mucho por hacer.[120] Finalmente resultó que hay varias clases de ARN. El ARN de transferencia es uno de ellos (para cada aminoácido existe un adaptador específico de ARN «de transferencia»). Especialmente importante es el «ARN mensajero», que copia una de las cadenas de ADN, identificado por Sydney Brenner, François Jacob y Matt Meselson en 1961.[121]

En la cita anterior de Watson, éste se refería a la enzima ARN polimerasa, «que cataliza en prácticamente todas las células la producción de cadenas de ARN de un solo filamento a partir de modelos de ADN de dos filamentos». Fue Arthur Kornberg (1918-2007) quien descubrió en 1957 la versión ADN de esta enzima, la ADN polimerasa (luego también denominada «polimerasa I»), que une los componentes del ADN y crea los enlaces

químicos de su soporte, y que continuó entre 1958 y 1969 trabajando (utilizando *Escherichia coli*) con sus colaboradores en el estudio de sus propiedades como un enzima y una proteína.122

La síntesis enzimática del ADN realizada por Kornberg con la ADN polimerasa, fue un acontecimiento tan destacado que menos de dos años después recibía el premio Nobel de Medicina correspondiente a 1959. Lo compartió con un bioquímico en cuyo laboratorio de la Escuela de Medicina de la Universidad de Nueva York había trabajado después de haberse doctorado: Severo Ochoa (1905-1993).123

La conexión española

Ochoa, un bioquímico que ocupa un lugar destacado en la historia de la biología molecular de la segunda mitad del siglo XX, obtuvo el premio Nobel por sus trabajos en síntesis enzimática,124 un campo en el que hizo su primera gran contribución, sumándose al hallazgo que la francesa Marianne Grunberg-Manago (1921-2013) realizó en 1954 mientras era becaria en su laboratorio neoyorquino (fue Ochoa quien le encargó estudiar temas relacionados, concretamente la fosforilación oxidativa).125 Grunberg-Manago identificó una enzima bacterial, la polinucleótido fosforilasa (PNPasa), que daba origen a un producto similar al ARN. Era la primera vez que se sintetizaba fuera de la célula un polinucleótido parecido al ARN, y se pensó que catalizaba la síntesis del ARN *in vivo*, aunque finalmente resultó que la PNPasa no era la enzima responsable de la síntesis del ARN, sino que lo que hacía era sintetizar un polímero de ácido ribonucleico. En efecto, en 1960 comenzaron a publicarse trabajos que sugerían que la responsable de la síntesis del ARN era otra enzima, la ya citada ARN polimerasa.

Pero lo que me interesa aquí es aprovechar la aparición de Ochoa para referirme brevemente, del mismo modo que he hecho en otros capítulos, a la historia de la bioquímica y

la biología molecular en España, puesto que, como es bien sabido, Ochoa nació, se educó y se inició en la investigación bioquímica en España.

Severo Ochoa nació el 24 de septiembre de 1905 en Luarca (Asturias), aunque a los siete años se trasladó con su familia a Málaga, en donde cursó los estudios de enseñanza media. Cuando llegó la hora de elegir carrera, el ejemplo de Cajal influyó en su decisión. He aquí como él mismo recordó este hecho:126

> Durante un tiempo pensé estudiar ingeniería, pero por una parte yo tenía poco talento para las matemáticas y por otra me di cuenta de que lo que realmente me interesaba era la biología. Por esta razón me matriculé en la Facultad de Medicina en 1923. Nunca se me pasó por la imaginación dedicarme a la práctica médica pero en aquel momento, al menos en España, esta carrera proporcionaba el mejor acceso al estudio de la biología. Los descubrimientos del gran neurohistólogo español Santiago Ramón y Cajal me habían impresionado y soñaba con tenerle como profesor de histología cuando entré en la facultad después de un año previo de estudios de física, química, biología y geología. No puedo describir lo decepcionado y triste que me sentí cuando me di cuenta de que el septuagenario Cajal se había retirado de su cátedra a pesar de que continuaba investigando.

Aunque no pudo tener a Cajal como profesor, el joven Severo recibió una buena educación en la Facultad de Medicina de Madrid, completando su formación en el laboratorio de Fisiología de la Residencia de Estudiantes, que la Junta para Ampliación de Estudios había puesto a disposición de un magnífico fisiólogo, luego político republicano, Juan Negrín, quien se había formado en Alemania. Más tarde, Ochoa pudo ampliar estudios en el extranjero, primero (1929) en Heidelberg, con Otto Meyerhof, premio Nobel de Medicina en 1922, y luego (1932) en Londres, junto a Henry Dale, donde comenzó a interesarse por la enzimología, dominio al que, básicamente, dedicaría su vida.

Sin embargo, la guerra civil española puso término a su

carrera en España, cuando ya había iniciado su formación académica en la Universidad de Madrid. En septiembre de 1936 abandonó España, comenzando un peregrinaje que le llevó primero a Alemania, después a Inglaterra y finalmente a Estados Unidos, país en el que se instalaría definitivamente y cuya nacionalidad adoptaría en 1956. En 1940, con el apoyo de la Fundación Rockefeller, se incorporó al grupo de Carl Cori en la Universidad Washington de Saint Louis, que dejó en 1942, cuando se instaló en el Departamento de Medicina del Hospital Bellevue de Nueva York, desde el que se trasladó en 1944 al Departamento de Química de la Escuela de Medicina de la Universidad de Nueva York.

En Norteamérica, la carrera de Ochoa floreció. España lo había formado como científico, pero fue Estados Unidos quien se benefició de aquel trabajo previo, aunque hay que reconocer que su nueva patria le dio mucho: medios, colegas con los que relacionarse, interés de la industria por la investigación académica. De hecho, sólo regresó a España (donde falleció, en Madrid, el 1 de noviembre de 1993) en 1985, después de haberse jubilado en 1974 de la Universidad de Nueva York y de haber terminado su posterior relación laboral con el Instituto Roche de Biología Molecular de New Jersey.

Debido a circunstancias políticas la ciencia española perdió a Ochoa, aunque no es imposible que lo hubiera perdido en cualquier caso, ya que su disciplina, la bioquímica, se encontraba mucho más desarrollada en países como Alemania, Inglaterra o Estados Unidos, y Ochoa fue siempre un científico extremadamente ambicioso, que buscaba el mejor lugar para desarrollar sus investigaciones. ¿Qué ocurrió, de todas maneras, en las ciencias biomédicas, en la España posterior a 1939?

En el capítulo 10 ya indiqué que la herencia de Cajal sufrió en la España franquista. Sus discípulos más directos, Francisco Tello y Fernando de Castro, se vieron marginados.

El primer director del Instituto Cajal después de la

guerra fue Enrique Suñer, un fiero enemigo de la Junta para Ampliación de Estudios, y que después de 1939 estuvo directamente implicado en tribunales de depuración. En 1937 publicó un libro titulado *Los intelectuales y la tragedia española*, que constituye una terrible muestra de revanchismo y desprecio a la labor de la Institución Libre de Enseñanza. Pero estuvo poco tiempo en el cargo ya que falleció en 1940. Le sustituyó el ¡ingeniero agrónomo! Juan Marcilla Arrazola, catedrático de Microbiología y Enología de la Escuela de Agrónomos de Madrid desde 1924, y tras la guerra jefe de la sección de Fermentaciones del Instituto. Como ha escrito María Jesús Santesmases:127 «No se encuentra ninguna conexión entre las fermentaciones y la neurohistología de la escuela cajaliana si no se acude a la justificación de carácter político». Marcilla dirigió el Cajal hasta 1946, cuando al crearse el Instituto de Microbiología pasó a él. Julián Sanz Ibáñez, hasta entonces secretario, fue designado nuevo director del Cajal.

Sanz Ibáñez estaba mejor capacitado que sus predecesores, no siendo ajeno a la escuela de Cajal: licenciado en Medicina por la Universidad de Zaragoza en 1927, había trabajado con Tello en el Instituto Nacional de Higiene, donde creó una sección de cultivo de tejidos. En 1931, y a propuesta de Gonzalo Rodríguez Lafora, fue nombrado ayudante de la sección de Fisiopatología cerebral y patología nerviosa del Instituto. El año siguiente lo pasó en Viena, con una pensión de la JAE, y a su vuelta se incorporó de nuevo al Instituto y a una ayudantía de cátedra. En 1940 obtuvo la cátedra de Histología e Histoquímica, técnica micrográfica y anatomía patológica de Santiago, en 1941 la de igual nombre de Valencia y en diciembre de 1944 la de Anatomía patológica de Madrid.

En su conocido libro *Descargo de conciencia*, Pedro Laín Entralgo se refirió al trato que recibió la escuela de Cajal tras la guerra. Recordaba allí que Fernando de Castro había expuesto al todopoderoso secretario general del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, José María Albareda (con quien nos encontramos en el capítulo 11), la

penosa situación en que se encontraba el Instituto por falta de recursos. «Que el Cajal se nos muere, Albareda», le dijo Castro. «A lo cual éste», añadía Laín, «respondió algo que en un gerente de la ciencia española en la segunda mitad del siglo xx resulta punto menos que increíble: "Qué quiere, Castro; todo en la historia se muere alguna vez".»[128]

Y terminó muriéndose. O, cuanto menos, transformándose radicalmente. Pero no voy a relatar esta historia. Sólo quiero mencionar dos hechos. El primero, la gravedad de semejante comportamiento, puesto que algo que es especialmente importante en ciencia es establecer una tradición, «crear escuela», el no tener que partir de cero. Esto se había logrado en las ciencias neurohistólogicas en España hacia el primer tercio del siglo xx, y por razones diversas, en las que desde luego la ideología y el resentimiento desempeñaron un importante papel, se echó a perder. Aunque no del todo, y éste es el segundo punto que quiero destacar. La fuerza de una tradición bien establecida es tal que al menos durante algún tiempo continúa promoviendo vocaciones. El recuerdo del pasado reciente, sobre qué es la investigación científica en realidad, no se borra tan fácilmente. Lo que es difícil de implantar con firmeza es una nueva tradición de excelencia. Esto no se improvisa, aunque sí se puede acelerar.

En el caso que estoy mencionando esto se materializó en que tampoco se desmontó completamente el Instituto Cajal. Se reconvirtió a un Centro de Investigaciones Biológicas (comúnmente denominado «el Cajal»), que abrió sus puertas oficialmente el 8 de febrero de 1958 con Gregorio Marañón de director. Aunque el nuevo centro nació para dedicarse preferentemente a la investigación neurofisiológica, neuroquímica y microbiológica (pero sin apenas restos directos de la escuela de Cajal), resultó ser uno de los lugares desde los que se impulsó el desarrollo de la bioquímica en España. Tal desarrollo tuvo allí su instrumento de materialización en Alberto Sols (1917-1989), que con el apoyo de Albareda encontró acomodo en el Centro de Investigaciones Biológicas,

inicialmente como colaborador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tras haber pasado tres años en el grupo de Carl Cori en la Universidad de Washington. Tanto la bioquímica como la biología molecular española de las últimas décadas del siglo xx se beneficiarían de semejante conexión.[129] También se beneficiarían de la ayuda de restos del pasado cajaliano, como era el propio Severo Ochoa, quien acogió en su laboratorio del Departamento de Bioquímica de la Universidad de Nueva York a jóvenes investigadores españoles, además de prestar su prestigio y experiencia —como también otro exiliado, Juan Oró— para colaborar en las reformas que el ministro de Educación Luis Villar Palasí se propuso hacer en la Universidad a finales de la década de 1960. Fruto de estas iniciativas sería el establecimiento del Instituto de Biología Fundamental de Barcelona (1970) y del Centro de Biología Molecular en el campus de la Universidad Autónoma de Madrid (1975), un centro mixto Universidad-CSIC.

La Era de la Biotecnología e Ingeniería Genética: el ADN Recombinante

Hasta ahora he estado tratando de ideas y desarrollos científicos, de la lógica interna del avance de la ciencia. No he considerado, por tanto, la parte que se supone en el libro que lleva por subtítulo «Historia social, política y económica». La razón de esto es que las consecuencias sociales, políticas y económicas de la «revolución del ADN» tardaron en llegar. A finales de la década de 1960 la biología molecular podía, es cierto, presumir de tener tras de sí ya casi dos décadas de tradición, en las que se habían producido avances notables (con la ayuda de descubrimientos procedentes del campo de la bioquímica; como la identificación de nuevas enzimas y la determinación de las múltiples funciones que estas desempeñan). Por ejemplo, había sido posible, describir con bastante detalle la maquinaria celular responsable de la replicación del ADN y la síntesis de las proteínas, y se desarrollaron nuevas habilidades en la manipulación del ADN. Logros que tuvieron su efecto en diversas áreas de investigación: se consiguió, por ejemplo, determinar en términos moleculares los principales mecanismos de transmisión de información genética en bacterias, o explicar el comportamiento genético de las formas más sencillas de vida, como las células procariotas, que no poseen núcleo. Ahora bien, a pesar de todos estos adelantos, hacia 1970 la biología molecular todavía no había conducido a ninguna aplicación práctica importante. Un informe emitido en 1975 por la compañía Cetus Corporation, fundada en 1971 en la zona de Berkeley cercana a la bahía de San Francisco y dedicada a intentar explotar las posibilidades de la nueva ciencia bioquímica y biológico molecular (sus primeros proyectos fueron en el dominio de vitaminas, como la B_{12}, y antibióticos), afirmaba que:[130] «Las “aplicaciones” prácticas de la biología molecular han sido lentas en llegar.

En el nivel aplicado, todavía en este momento es difícil encontrar alguna habilidad médica o industrial realmente importante para la que sea esencial que conozcamos el código genético o que el ADN aparezca en la naturaleza como una doble hélice». Importante en este sentido es que se desconocían las técnicas adecuadas para manipular el ADN en el tubo de ensayo. Debido a ser las moléculas de ADN de gran tamaño, cuando se las intentaba fragmentar los cortes se producían al azar, con lo cual se descomponía la información genética contenida en ellas de forma tal que era prácticamente imposible de recomponer.

Fue a finales de la década de 1960 y comienzos de la de 1970 cuando comenzaron a ser desarrolladas las técnicas necesarias para que se pudiese hablar de «biotecnología» o de «ingeniería genética» (un término este último acuñado en 1965 por Rollin Hotchkiss, que se había formado en el laboratorio de Avery), la disciplina que se ocupa de «unir genes», esto es, de sustituir un segmento de ADN de una célula por uno de otra (al organismo que surge de este proceso se le denomina *transgénico*).

El primer descubrimiento importante en este sentido tuvo lugar en 1967 (Weiss, Richardson), con el aislamiento de la enzima ligasa, que puede unir cadenas de ADN.[131] El año siguiente, el microbiólogo suizo Werner Arber y uno de sus colaboradores, S. Linn, encontraron en la bacteria *Escherichia coli*, el ocupante habitual e inocuo de nuestro colon, las denominadas enzimas de restricción, que son capaces de cortar por sitios determinados las moléculas de ADN.[132] Una primera aplicación de estas enzimas fue para determinar el orden de los genes en los cromosomas, o para analizar la estructura química de los genes, como mostraron Hamilton Smith y su colaborador K.W. Wilcox, de la Escuela de Medicina de la Universidad Johns Hopkins, quienes confirmaron el hallazgo de Arber e identificaron fragmentos de genes.[133] Smith colaboró en estos problemas con Daniel Nathans, también en Johns Hopkins, aunque fue Nathans quien, junto con Danna, demostró que el ADN del virus cancerígeno SV40 (de *Simian Virus* 40), que crece en

los núcleos de células en cultivo de monos y está formado por unos 5.000 pares de bases, podía ser partido en once fragmentos específicos, cuyo orden determinó al año siguiente.[134] Según el comunicado oficial, «por el descubrimiento de las enzimas de restricción y sus aplicaciones a problemas de genética molecular» (descubrimientos en los que participaron —firmando, por ejemplo, algunos de los principales artículos— otros científicos), Arber, Nathans y Smith recibieron el premio Nobel de Medicina en 1978.

Disponiendo de semejantes instrumentos fue hasta cierto punto natural que, en 1972, Janet Mertz y Ron Davis, en la Universidad de Stanford, descubriesen que se podía unir muy fácilmente moléculas de ADN cuando se las cortaba utilizando la enzima de restricción *EcoRI*.[135] Las investigaciones de Mertz y Davis fueron muy importantes para que, al año siguiente, Herbert Boyer y Stanley Cohen desarrollasen un método para reordenar moléculas de ADN en un tubo de ensayo, para crear moléculas híbridas procedentes en parte de, por ejemplo, ADN de una mosca y en parte de ADN bacterial.[136] Fue entonces cuando realmente se abrió la nueva era del ADN Recombinante.

Ahora bien, antes incluso de que se dispusiese de los elementos para poder hablar con propiedad de la Era del ADN Recombinante, tuvieron lugar unos acontecimientos que muestran que los científicos se daban perfecta cuenta de que se estaba a punto de traspasar una nueva frontera, para penetrar en un territorio que podía contener sorpresas peligrosas. Debo, por consiguiente, deshacer algo del camino, apenas dos años, para explicar esos acontecimientos.

Alarma entre los biólogos moleculares: la Conferencia de Asilomar

Inmediatamente después de que se introdujesen las primeras técnicas de ADN recombinante se reconoció que sería posible construir moléculas de ADN recombinante *in*

vitro, generándose especulaciones y debates acerca de las implicaciones de la tecnología genética aplicada a seres vivos, entre ellos los humanos. Parecía claro que la biología molecular, ahora en la forma de ingeniería genética o biotecnología, podría permitir seleccionar no ya individuos, sino algunos de sus genes o porciones de ellos; crear, en definitiva, algo absolutamente nuevo: nuevas moléculas, nuevos genes y por tanto nueva vida.

Se da la circunstancia de que además, por entonces, a finales de la década de 1960 y comienzos de la de 1970, la perspectiva de una aniquilación nuclear, al igual que la destrucción que la guerra con Estados Unidos acarreaba en Vietnam, estaban en la mente de todos, y que los problemas medioambientales afloraban ya con intensidad. La organización Science for People («Ciencia para el pueblo»), con base en Boston, fue especialmente activa en advertir contra el posible abuso de la tecnología genética. En noviembre de 1969, tres científicos de Harvard que eran miembros de la organización utilizaron la ocasión del aislamiento de uno de los genes de *Escherichia coli* para advertir de los peligros de la mala utilización de la genética (se temía que pudiera conducir a producir accidentalmente organismos patógenos con resultados epidémicos). Salvador Luria escribió en términos similares en un artículo publicado en *Nation* en 1969, y James Watson advirtió de los peligros de clonar humanos en *Atlantic* (1971): «Éste es un asunto demasiado importante», señalaba, «como para dejarlo únicamente en las manos de las comunidades médica y científica».

Sin embargo, semejante posición no era aceptada por todos. Dos importantes investigadores biomédicos, el ya citado Daniel Nathans, y Sherman Weissman, de Yale, cuestionaron «si un debate abierto no podría conducir a una restricción no deseada en la tradicional libertad de investigación científica».[137]

El programa de investigación de un determinado grupo fue particularmente importante para que se pusiesen en marcha los sucesos que mencionaré. Se trata del equipo de

Paul Berg (n. 1926), director del Departamento de Bioquímica de la Escuela de Medicina de la Universidad de Stanford. Después de haber trabajado con Arthur Kornberg, en 1967, Berg decidió dedicarse a estudiar la biología de las células animales utilizando virus tumorales, y para prepararse adecuadamente pasó un año en el Instituto Salk de Estudios Biológicos, situado en La Jolla (California), con Renato Dulbecco (1914-2012) que se había incorporado en 1964 a ese entonces nuevo centro (financiado por Jonas Salk, inventor de la vacuna contra la polio), y que se estaba especializando en virus tumorales. Cuando regresó a Stanford, Berg comenzó a trabajar con SV40. Aunque este virus no producía efectos nocivos en monos, producía cáncer en ratones, así como en algunos tipos de cultivos de células humanas, y por ello a Berg le preocupó que él o miembros de su grupo se pudieran infectar y desarrollar cánceres, aunque Dulbecco sostenía que no había motivo para ello. Intentando encontrar el gen o genes que producían cáncer en los ratones, Berg planeó insertar el SV40 en *Escherichia coli* y trabajar con esta sencilla bacteria, para tratar de llevar luego las técnicas que desarrollase a células animales.

En 1971, uno de los colaboradores de Berg, Janet Mertz (cuyos resultados de 1972 junto a Ron Davis ya he mencionado), hizo públicas las intenciones del grupo, presentando en una reunión celebrada en el Laboratorio de Cold Spring Harbor un proyecto de experimento en el que se pretendía insertar el cromosoma de SV40 en una cepa de laboratorio de *Escherichia coli*. La perspectiva de que una bacteria —especialmente una que aparece de manera natural en el intestino humano— pudiese ser tratada para transportar el ADN de un virus capaz, bajo ciertas condiciones experimentales, de provocar tumores en roedores alarmó a algunos biólogos moleculares. Robert Pollack, del Laboratorio Cold Spring Harbor, telefoneó a Berg manifestándole su preocupación. Berg pidió consejo a algunos colegas.[138] En un libro autobiográfico, Sydney Brenner recordaba una de esas consultas:[139]

> Por entonces, Paul Berg vino a mi laboratorio y me pidió consejo sobre un experimento que estaba intentado realizar con el virus SV40, que sería el primer experimento de ingeniería genética sobre el que se informó. Yo le dije que pensaba que era un experimento muy interesante, pero que por qué no lo hacía con algo más sencillo que con el SV40, que es un virus tumoral. Pero él no quería realmente mi opinión sobre la naturaleza del experimento. Quería saber si debía *hacerlo*. Si era ético hacerlo. Ésta fue la escena que se abrió ante nosotros a mediados de 1974, cuando se informó de todos estos experimentos: los inicios de la manipulación genética y de todos sus problemas. Pero me di cuenta inmediatamente de que ésta sería la forma de abordar la genética de los organismos superiores, y yo quería, y mucho, hacerlo, clonar genes.

Finalmente, el experimento con el SV40 fue pospuesto.

Sin embargo, era evidente que la situación no se podía mantener. No se podía o no se debía, porque en realidad, la historia nos enseña que situaciones que *no se podían* mantener, *se mantuvieron* sin que se produjera ninguna discusión abierta entre científicos. No fue esto lo que sucedió en este caso, algo que habla bien de los científicos implicados.

El presidente de la National Academy of Sciences, Philip Handler, que se inclinaba por mantener el debate dentro de la comunidad científica, pidió a Berg que estableciese un comité para examinar el problema y proponer acciones que tomar a corto y largo plazo. Berg, que contemplaba el comité como un grupo informal (Handler, no obstante, afirmó más tarde que actuaba en representación de la Academia), cumplió con el cometido, reuniendo en abril de 1974 a un grupo de diez destacados biólogos moleculares y bioquímicos.

El resultado de la reunión fue una carta, publicada en julio de 1974 en los *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Science* y en *Nature*. Aun a riesgo de extenderse un poco, merece la pena reproducir una gran parte de su contenido:[140]

> Avances recientes en técnicas para el aislamiento y unión de

segmentos de ADN permiten ahora construir *in vitro* moléculas de ADN recombinante biológicamente activas...

Varios grupos de científicos están planeando en la actualidad utilizar esta tecnología para crear formas de ADN recombinante a partir de varias fuentes virales, animales y bacteriales. Aunque es posible que estos experimentos faciliten la solución de importantes problemas biológicos teóricos y prácticos, también darán como resultado la creación de nuevos tipos de elementos de ADN infecciosos, cuyas propiedades biológicas no se pueden predecir completamente de antemano.

Existe seria preocupación de que algunas de estas moléculas artificiales de ADN recombinante puedan ser biológicamente peligrosas. Un peligro potencial en experimentos que se están llevando a cabo en la actualidad surge de la necesidad de utilizar una bacteria como *E. coli* para clonar las moléculas de ADN recombinante y aumentar su número. Estirpes de *E. coli* residen habitualmente en el aparato intestinal humano y son capaces de intercambiar información genética con otros tipos de bacterias, algunas de las cuales son patógenas para el hombre. Por consiguiente, es posible que nuevos elementos de ADN introducidos en *E. coli* puedan llegar a diseminarse extensamente en poblaciones humanas, bacteriales, vegetales o animales, con efectos impredecibles.

Científicos que asistían a la Conferencia de Investigación Gordon sobre Ácidos nucleicos de 1973 manifestaron su preocupación por las posibilidades que están surgiendo, solicitando que la National Academy of Sciences se ocupase de estos asuntos. Los abajo firmantes miembros de un comité, actuando en este tema en representación y con el apoyo de la Asamblea de Ciencias de la Vida del National Research Council, proponen las siguientes recomendaciones:

Primero, y más importante, que hasta que no se hayan evaluado mejor los peligros potenciales de tales moléculas de ADN recombinante, los científicos de todos los países se unan a los miembros de este comité en detener los siguientes tipos de experimentos.

Tipo 1: Construcción de nuevos plásmidos [pequeños anillos de ADN que se utilizan en el empalme de genes] bacteriales, que se reproduzcan de manera autónoma y que puedan conducir a la introducción de determinantes genéticos para la resistencia a antibióticos o la formación de toxinas bacteriales en estirpes de bacterias que no poseen actualmente estos determinantes; o construcción de nuevos plásmidos que contengan combinaciones que sean resistentes a antibióticos

clínicamente útiles, salvo que ya existan en la naturaleza plásmidos que contengan tales combinaciones de determinantes resistentes a los antibióticos.

Tipo 2: Que se unan, parcial o totalmente, ADN de virus oncogénicos, o de otro tipo, a elementos de ADN que se reproduzcan de manera autónoma... Tales moléculas de ADN recombinante podrían diseminarse más fácilmente a poblaciones bacteriales en seres humanos, al igual que en otras especies, aumentando acaso de esta manera la incidencia del cáncer o de otras enfermedades.

Segundo, deberían considerarse cuidadosamente los planes de unir fragmentos de ADN de animales a plásmidos bacteriales o bacteriofagos, a la luz del hecho de que muchos tipos de células de ADN de animales contienen secuencias comunes a virus tumorales de ARN...

Tercero, se ha requerido al director de los Institutos Nacionales de la Salud que considere inmediatamente establecer un comité asesor encargado de: (i) supervisar un programa experimental que se ocupe de evaluar los peligros biológicos y ecológicos potenciales de los anteriores tipos de moléculas de ADN recombinante; (ii) desarrollar procedimientos que minimicen la difusión de tales moléculas dentro de poblaciones humanas o de otro tipo, y (iii) desarrollar líneas directrices para que sean seguidas por los investigadores que trabajan con moléculas de ADN recombinante potencialmente peligrosas.

Cuarto, se debería celebrar a principios del año próximo una reunión internacional de científicos implicados procedentes de todas partes del mundo, para repasar los progresos científicos en esta área y discutir, además, procedimientos apropiados para tratar con los peligros biológicos potenciales de las moléculas de ADN recombinante.

Las anteriores recomendaciones se efectúan sabiendo: (i) que nuestra preocupación se basa en juicios de riesgos potenciales, no de riesgos demostrados, ya que hay disponibles pocos datos experimentales sobre los peligros de tales moléculas de ADN y (ii) que la adhesión a nuestras recomendaciones principales implicará posponer o posiblemente abandonar ciertos tipos de experimentos científicamente interesantes. Más aún, somos conscientes de la existencia de muchas dificultades teóricas y prácticas en la evaluación de los peligros humanos de tales moléculas de ADN recombinante. Sin embargo, nuestra preocupación por las posibles consecuencias desafortunadas de la aplicación indiscriminada de estas técnicas, nos hace urgir a

> todos los científicos que trabajan en esta área a que se unan a nosotros en aceptar no iniciar experimentos de los tipos 1 y 2 hasta que se hayan realizado intentos de evaluar los peligros y alcanzado alguna resolución sobre las cuestiones principales.

Que la Academia Nacional de Ciencias solicitase que se estableciese una moratoria mundial voluntaria en un área de la investigación científica debido a riesgos potenciales e impredecibles para la salud humana, era una iniciativa sin precedentes. Un colectivo de científicos líderes en su campo pedía que se tomasen medidas restrictivas en la investigación.[141] Ciertamente no lo hicieron, por mucho que hablasen sobre el particular, y tomasen ciertas iniciativas, *después* de haber desarrollado la ciencia y tecnología básica, los físicos nucleares que posibilitaron el mundo militar y civil nuclear.

La conferencia internacional que proponía la carta del «Comité Berg» se celebró muy pronto; en el Centro de Conferencias de Asilomar, en Pacific Grove, California, en febrero de 1975. Participaron 150 científicos.

Abrió la conferencia David Baltimore, director del Centro de Investigación del Cáncer del Massachusetts Institute of Technology, quien unos meses más tarde sería galardonado con el premio Nobel de Fisiología o Medicina de aquel año (al mismo tiempo que Howard Temin, con quien compartió galardón), por su descubrimiento, al que ya me he referido, de que ciertos virus sintetizan ADN a partir de ARN. Su intervención dejó claro que lo que se pretendía analizar eran únicamente los riesgos asociados a la investigación genética y las medidas de seguridad que se podían introducir. Específicamente, descartaba como temas «periféricos a esta reunión», «la utilización de esta tecnología en la terapia génica o ingeniería genética, que nos conduce a cuestiones como lo que está bien y lo que está mal, complicadas cuestiones de motivación política, y de las cuales no creo que éste sea el momento adecuado [para discutirlas]».

Naturalmente, no todo el mundo estaba de acuerdo con semejante planteamiento, pero esto es algo que no pretendo

comentar, ni tampoco que la conclusión de la conferencia fuese a recomendar que se levantase la moratoria parcial impuesta en julio del año anterior, reemplazándola con unas guías para la investigación en ingeniería genética (muchas de las cuales, por cierto, eran bastante estrictas). La discusión se extendió, llegando incluso a la arena política. Así, en el número del 6 de agosto de 1976 de *Science* se publicaba un artículo titulado «ADN recombinante en la Casa Blanca» en el que se señalaba que «el asunto del ADN recombinante ha sido llevado formalmente a la atención de la Casa Blanca. En una carta del 19 de julio al Presidente Ford, los senadores Edward Kennedy y Jacob Javits le urgían a que hiciese que toda esa investigación, incluyendo la que se desarrolla en la industria, esté sujeta a control federal».142 Sin embargo, poco se pudo hacer en este sentido, encontrándonos así con uno de los primeros casos —si no el primero— en el que la tecnociencia biológico-molecular y médica ha planteado posibilidades o situaciones que recomendaban introducir normas legales para controlarlas, normas que o no se introdujeron, o no de manera lo suficientemente general (incluyendo en este término su acepción «internacional»).

Un nuevo mundo biomédico

Es importante señalar que estaba claro, y todos lo apreciaron, comenzando por los propios científicos, que se había abierto un mundo cuyas implicaciones no se detenían en el laboratorio. Un mundo que, de hecho, incluía no sólo cuestiones relativas a la seguridad de los experimentos que se realizaban, o a la creación de posibles nuevas formas de vida, sino también de un tipo más sociopolítico y económico. Como la espinosa cuestión de la posibilidad de patentar las variedades creadas de organismos vivos (microorganismos, plantas o animales transgénicos).

Ya en 1972, Anada Chakrabarty (1938-2020), un bioquímico que trabajaba para General Electric, había creado un nuevo organismo (una cepa de bacterias,

Pseudomonas) que consumía petróleo. No utilizó técnicas de ingeniería genética, simplemente cruzó cuatro microorganismos con diferentes «apetitos» por distintos componentes del petróleo en crudo (el resultado fue que el nuevo «ser» digería alrededor de dos tercios del petróleo, convirtiéndolo en dióxido de carbono y proteínas, con lo que sus posibles usos eran obvios; por ejemplo, para combatir la contaminación por vertidos de petróleo). General Electric solicitó patentar el organismo, pero la Oficina de Patentes estadounidense (Patent and Trademark Office, PTO) denegó la petición. En 1979 el caso llegó al Tribunal Supremo de Estados Unidos, bajo la rúbrica (por la que se le conoce generalmente) «Diamond versus Chakrabarty», ya que la decisión de la Oficina de Patentes había sido defendida por Sydney Diamond.143 En 1980, el Tribunal Supremo decidió aceptar la petición de General Electric por cinco votos frente a cuatro, concluyendo que «un microorganismo vivo creado por el hombre puede ser objeto de una patente».

Siguiendo el precedente de la decisión del caso Chakrabarty, en 1985 la Oficina de Patentes estadounidense otorgó una patente para la primera planta diseñada mediante ingeniería genética, y en 1987 concedió el derecho a patentar animales domésticos transgénicos, esto es, creados mediante ingeniería genética. Utilizando este acuerdo, el 12 de abril de 1988 autorizaba la primera patente para un animal transgénico, un ratón genéticamente modificado diseñado en la Universidad de Harvard (que es la que solicitó la patente), que portaba un gen humano que produce cáncer (el ratón lo desarrollaba en los dos meses siguientes a su nacimiento). En 1991, la Oficina de Patentes de la Unión Europea también concedió una patente a Harvard para el ratón.

En 1987, la Oficina estadounidense prohibió que se patentasen seres humanos alterados genéticamente, basándose en una enmienda antiesclavista de la Constitución de Estados Unidos, que impide la propiedad de seres humanos. Pero existe un amplio territorio intermedio:

vivimos, lo sabemos demasiado bien, más entre sombras que sumergidos en la luz o la oscuridad. Myriad Genetics, la compañía biotecnológica estadounidense que anunció el descubrimiento del primero de los genes asociados al cáncer de mama hereditario (conocido como BRCA1), mostró rápidamente su intención de patentar el hallazgo, abriendo de esta manera el debate acerca de si se deben conceder patentes sobre genes individuales. De hecho, en marzo de 1995, la misma Oficina de Patentes estadounidense respondió favorablemente a William French Anderson, Michael Blaese y Steven Rosenberg, quienes presentaron una solicitud de patente para un «proceso para proveer a un ser humano de una proteína terapéutica que comprende: introducción en un ser humano de células humanas que han sido tratadas *in vitro* para insertar en su interior un segmento de ADN codificador de proteína terapéutica, células que expresan *in vitro* en dicho ser humano el efecto terapéutico de la mencionada proteína».144 Los derechos de explotación de la patente fueron concedidos a los Institutos Nacionales de la Salud, para quienes habían trabajado Anderson, Blaese y Rosenberg, pero aquellos traspasaron los derechos de explotación a una compañía privada, Genetic Therapy Inc., de Maryland. Basándose en toda esta legislación, en octubre de 1998 la PTO concedió la primera patente de una secuencia de ADN —incluyendo genes— a favor de InCyte Pharmaceuticals Inc. En 2000, el número de patentes que la Oficina de Patentes estadounidense había concedido a este tipo de secuencias alcanzaba ya los 2.000. Es cierto que existen diferencias en el campo biotecnológico entre las leyes que rigen las patentes en diferentes países, pero ¿qué valor tiene, en el mundo globalizado mercantilmente en el que vivimos, una prohibición a este tipo de patentes, si algún país no la admite? En cualquier caso, cuando se observan los gráficos que expresan el aumento del número de patentes de secuencias de ADN concedidas por entonces en el mundo, se comprueba que el crecimiento es exponencial.145 Había comenzado una carrera de la que no

se sabía dónde se encuentra la meta, ni tampoco todas las reglas que rigen la competición.

Ciencia y negocios

De lo que acabo de indicar se deduce que las perspectivas de obtener rentabilidad de la nueva ciencia biológico molecular ya no eran las mismas de las que se hablaba en el informe preparado por Cetus en 1975.

Las perspectivas de beneficios eran, de hecho, tan obvias que incluso los propios científicos actuaron con rapidez: junto con un joven socio capitalista, Herbert Boyer, quien como vimos había desarrollado en 1973 con Stanley Cohen un método para reordenar moléculas de ADN en un tubo de ensayo para crear moléculas híbridas, fundó en 1976 una compañía biotecnológica para explotar comercialmente el ADN recombinante (Boyer aportó sobre todo sus conocimientos científicos; en lo que a capital económico se refiere, su contribución fue modesta: 1.000 dólares). Finalmente, y tras captar capital adicional (100.000 dólares de Thomas Perkins y de Kleiner y Perkins) la nueva compañía se denominó Genentech («Genetic Engineering Technology»).

Es interesante señalar que el mismo año (1976) en que Boyer fundó Genentech, se convirtió en *full professor* de Bioquímica en la Universidad de California (San Francisco). A pesar de ser vicepresidente de una compañía comercial, continuó con su trabajo e investigaciones en la Universidad, contratando de hecho en ocasiones a su propio laboratorio universitario. No sorprenderá saber que se convirtió en millonario, ni que su caso y ejemplo suscitasen numerosas críticas, pero también emulaciones en una época en la que lo público y lo privado se confunden cada vez más en lo que a la investigación científica se refiere.

El primer proyecto de Genentech fue el desarrollo de técnicas recombinantes para la producción de insulina (también se dedicó a otros: en 1977 clonó un gen humano). El suministro mundial de insulina para usos terapéuticos

procedía de páncreas del sacrificio de vacas y cerdos, y las estimaciones de Eli Lilly & Co., que controlaba al menos el 80 % de las ventas de insulina en Estados Unidos, indicaban que las necesidades de insulina para la población diabética del país pronto superarían las posibilidades de producción existentes. A comienzos de septiembre de 1978, en una atestada sala de conferencias, Genentech anunciaba que había producido insulina mediante técnicas biotecnológicas, y que había llegado a un acuerdo con Eli Lilly & Co, quien a partir de entonces produciría y comercializaría la hormona. Cuando a mediados de octubre de 1980, se ofrecieron acciones de Genentech en bolsa, éstas se vendieron, para la sorpresa de los observadores de Walt Street, al doble del precio ofertado inicialmente.

Aquello no fue sino el primer paso en una nueva era, no sólo científica sino también tecnocientífica y socioeconómica. Así, el mismo año, 1980, en que se vendieron las acciones de Genentech, en Estados Unidos el Congreso introdujo una enmienda a una ley (la U.S. Patent Trademark Act), la denominada «Acta Bayh-Dole», por la que se permitía que profesores, investigadores o estudiantes universitarios recibieran una parte importante de los ingresos generados por patentes originadas en invenciones suyas, una práctica antes prohibida en numerosas instancias. Las universidades respondieron con entusiasmo. Un informe de la Oficina de Asesoría Tecnológica titulado *New Developments in Biotechnology: Ownership of Human Tissues and Cells* (*Nuevos Desarrollos en Biotecnología: Propiedad de Tejidos y Células Humanas*) señalaba que entre 1980 y 1984, las solicitudes de patentes relacionadas con la biología humana procedentes de universidades había aumentado en un trescientos por cien.

No es extraño, por consiguiente, que en la década de 1990 la industria biotecnológica se hubiese establecido ya tanto en Estados Unidos como en Europa, Asia y América Latina; en 1999, sólo en Estados Unidos generaba 20.000 millones de dólares de ingresos (entre el 80 y el 90 % de las compañías biotecnológicas se dedican a la producción de

productos farmacéuticos y de pruebas médicas). En 2004, el valor total del mercado de cosechas biotecnológicas (transgénicos) se estimó en 4.700 millones de dólares.

PCR: la Reacción en cadena de la polimerasa

Una técnica reciente que ha contribuido al gran desarrollo comercial de la biología molecular es la Reacción en Cadena de la Polimerasa, conocida por sus siglas inglesas: PCR (*Polymerase Chain Reaction*).146 Fue inventada por un personaje complicado, Kary Mullis (1944-2019), doctor en bioquímica por la Universidad de California en Berkeley, mientras trabajaba para Cetus Corporation, a la que se había incorporado en 1979. En consecuencia, fue Cetus quien dispuso de los derechos de la patente, con particular justicia en este caso, ya que el proceso de convertir la idea en una técnica que funcionase fue complejo y exigió de la participación de otros científicos y técnicos empleados por Cetus.147 De hecho, la idea le llegó a Mullis en 1983, mientras que la primera publicación se realizó en 1985 y la principal en 1986.148 (En 1993 Mulis recibió el premio Nobel de Química «por la invención del método de la reacción en cadena de la polimerasa».) La primera solicitud de patente se presentó el 28 de marzo de 1985; en junio de 1987, las patentes básicas de la PCR ya habían sido adjudicadas.

La PCR se basa en copiar, *in vitro*, una y otra vez, en un proceso que se convierte en exponencial y que no lleva más que unas pocas horas, una muestra de ADN, no importa que sea pequeña, utilizando la ADN polimerasa.149 Aunque se tardó algo (cerca de cuatro años) en que los especialistas apreciaran realmente las posibilidades de la nueva tecnología, las aplicaciones de la PCR se terminaron extendiendo a múltiples dominios, tanto científicos como «prácticos». La primera aplicación fue en el diagnóstico de una mutación que produce células «anémicas», y otra temprana fue cuando se convirtió, automatizada, en la principal herramienta del Proyecto Genoma Humano, del

que hablaré inmediatamente. En conjunto, se puede decir, sin exageración, que la PCR ha revolucionado el diagnóstico de males como el cáncer y enfermedades infecciosas, al igual que el dominio de la medicina forense, al utilizarse en los tan conocidos como celebrados análisis de muestras de ADN para resolver algunos delitos. En la pandemia surgida en 2020 debido al coronavirus SARS-CoV-2 (o COVID-19) la prueba mediante PCR constituyó el método principal de diagnóstico.

En 1989, Du Pont presentó una demanda legal contra la patente de la PCR que Cetus había obtenido en 1987, argumentando que los elementos constitutivos estaban disponibles desde finales de la década de 1960, gracias a los trabajos de H. Gobind Khorana. Sin embargo, el 28 de febrero de 1991 los jueces decidieron, unánimemente en más de 50 puntos, que los derechos eran de Cetus. Khorana no quiso testificar en el juicio, pero manifestó que estaba de acuerdo con Du Pont, y Arthur Korberg apoyó la demanda, sosteniendo que la PCR era «obvia» a partir de los trabajos previos sobre la ADN polimerasa. No obstante, otro premio Nobel, Hamilton Smith, testificó a favor de Cetus. Por entonces ya estaba claro que la PCR iba a producir grandes beneficios; de hecho, el 12 de diciembre de 1991 Cetus vendió la patente al gigante farmacéutico Hoffman-La Roche, Inc., por 300 millones de dólares. La investigación científica biomédica probaba ser rentable.

El Proyecto Genoma Humano

Los avances que se estaban llevado a cabo en el conocimiento de la estructura del ADN condujeron a que se plantease la idea de estudiar con detalle, de manera completa, toda la estructura genética (el *genoma*) de cadenas de ADN en especies concretas. ¿Y qué genoma podía resultar más atractivo que el nuestro, el de *Homo sapiens*? La presencia o no de uno o varios genes, o una variación en la composición química, puede tener consecuencias muy importantes en las características

(positivas o no) de los seres vivos. Por ejemplo, en 1986 un equipo de investigadores estadounidenses identificó el defecto genético responsable de un tipo de distrofia muscular. En 1989, un grupo de biólogos anunció el descubrimiento de la situación del gen que, cuando es defectuoso, produce la fibrosis quística, una enfermedad que afecta pulmones, páncreas y otros órganos. En 1993, se localizó el gen de la corea de Huntington, un trastorno que produce una degeneración progresiva del cerebro, que viene acompañada de la aparición de fuertes movimientos incontrolados y que conduce, inevitablemente por el momento, a la muerte. Y la lista fue creciendo continuamente. Entre los trastornos de reconocido origen génico se encuentran algunos como la artritis, el asma, cánceres como los de colon, páncreas, pulmón y mama, diabetes, epilepsia, enfermedad de Alzheimer, enfermedad de Tay-Sachs, esclerosis lateral amiotrófica (o enfermedad de Lou Gehrig), inmunodeficiencia severa combinada, esclerosis tuberosa, espina bífida, hemofilia, hipertensión arterial, neurofibromatosis y síndromes como el de Down, el de DiGeorge, el de María, el de Pendred o el de Williams.

Ahora bien, para poder establecer un mapa del genoma humano, tarea que implica identificar y ordenar millones de secuencias químicas, era preciso disponer de técnicas e instrumentos de computación especiales y muy poderosos. Y en este punto es obligado referirse al bioquímico inglés Frederick (Fred) Sanger (1918-2013), uno de los pocos miembros del exclusivo club de ganadores de dos premios Nobel. Especialista en analizar la secuencia de los aminoácidos de las proteínas, Sanger recibió su primer premio Nobel de Química en 1958, «por su trabajo en la estructura de proteínas, especialmente la insulina».[150] En un artículo que publicó en *The New Scientist* escribió:

> Analizábamos la secuencia de aminoácidos rompiendo la proteína en pequeños trozos utilizando enzimas que cortaban una cadena de aminoácidos en puntos precisos. Rompíamos secuencias largas en pequeñas y las separábamos mediante métodos diversos. Uno de ellos, llamado electroforesis,

> dependía de lo largo que fueran y de cuán grande fuese la carga que transportasen. Rompíamos entonces estos fragmentos en otros aún más pequeños y repetíamos el proceso hasta que terminábamos con los aminoácidos individuales. Entonces desandábamos el camino para deducir la secuencia original. Era bastante laborioso, pero funcionaba y de esta forma éramos capaces de obtener la secuencia completa de los aminoácidos de la insulina. Afortunadamente, la insulina es una molécula pequeña, con solamente unos 50 aminoácidos.[151]

La importancia de Sanger es tal que se le ha denominado «el padre de la genómica». En el prólogo a la biografía que escribió George Brownlee, el catedrático (por entonces ya emérito) de Bioquímica de la Universidad de Oxford, Edwin Southern resumió su importancia de esta manera:[152]

> Cuando Fred Sanger se unió al Laboratorio de Biología Molecular de Cambridge en 1962, ya había ganado el premio Nobel por su trabajo sobre la estructura de la insulina. El premio Nobel fue, apropiadamente, de Química ya que había demostrado que las proteínas eran verdaderos «productos» químicos, con una estructura definida, y no una mezcla mal definida como pensaban algunos. Fue un descubrimiento que amplió la química de las macromoléculas y creó una nueva disciplina, distinta a la bioquímica de aquellos días, que exigió un nuevo nombre: biología molecular.

Southern mencionaba que Sanger entró a formar parte del Laboratorio de Biología Molecular de Cambridge en 1962, pero ya estaba en Cambridge con anterioridad, en el Departamento de Bioquímica que dirigía Charles Chibnall. En el Laboratorio de Biología Molecular fue donde dirigió su atención a los ácidos nucleicos, sin duda influido por la presencia de Francis Crick. Allí desarrollo nuevas técnicas, necesarias para estudiar compuestos más complicados de lo que era la insulina: en 1973 inventó métodos manuales para analizar trozos de ADN, mediante los cuales obtuvo en 1977 la primera secuenciación de un genoma completo, el del virus bacteriano, o fago, φX-174, que tenía 5.375 nucleótidos.[153]

Fue por estos trabajos que recibió en 1980 su segundo premio Nobel de Química, esta vez compartido con Paul Berg y Walter Gilbert. La mitad del Premio fue para Berg, «por sus estudios fundamentales de la bioquímica de los ácidos nucleicos, con especial consideración al ADN recombinante», mientras que Sanger y Gilbert compartieron la otra mitad «por sus contribuciones relativas a la determinación de las secuencias de base en ácidos nucleicos». Esto se explica porque los métodos de análisis de Sanger no fueron los únicos desarrollados; otro método de secuenciación de ADN fue el desarrollado por Walter Gilbert, que lo publicó junto a Allan Maxam también en 1973.154.

Avances como estos favorecieron que en 1984 se propusiera la creación de un «Consorcio Internacional para Secuenciar el Genoma Humano», con el fin de determinar con precisión la estructura, como se decía, la «cartografía» del genoma humano. No obstante, su establecimiento formal se demoró hasta septiembre de 1988, liderado por Estados Unidos y controlado por los Institutos Nacionales de la Salud (NIH), pero con la participación de Gran Bretaña, Francia, Japón, China y Alemania. En 1989 se nombró director del mismo a James Watson, aunque dimitió dos años después por diferencias con la NIH sobre la manera de dirigirlo, lo que no impidió que el proyecto continuase bajo la dirección de Francis Collins (n. 1950). El Proyecto Genoma Humano ha sido una empresa no sólo ambiciosa sino también noble puesto que se trataba de un proyecto público (esto es, financiado por los erarios de varias naciones) destinado a obtener un conocimiento que además de contribuir al avance de la ciencia, debería tener consecuencias evidentes para la salud: no sólo se trataba de desentrañar mecanismos básicos para la vida, sino también de averiguar las relaciones entre genes y características determinadas (incluyendo enfermedades) de, en este caso, la especie humana.

Precisamente por esta dimensión del Proyecto Genoma Humano, era evidente que su objetivo tenía interés también

para la industria privada. Semejante interés no tardó demasiado en manifestarse: lo hizo a través de una compañía comercial fundada en 1998 denominada «Celera Genomics», dirigida por el innovador biólogo molecular Craig Venter (n. 1946).155

Licenciado en Bioquímica y doctorado en Fisiología y Farmacología en 1975 por la Universidad de California, en San Diego, Venter trabajó a principios de la década de 1990 para los Institutos Nacionales de la Salud que, como hemos visto, controlaban el Proyecto Genoma Humano, donde realizó importantes contribuciones al desciframiento de genes. Tuvo, no obstante, un conflicto con sus patrones con respecto a la decisión de los NIH de patentar una secuencia parcial de genes que él había identificado y dimitió. En 1992 fundó, en Rockville (Maryland), un Institute for Genomic Research (Instituto para la Investigación Genómica), que no buscaba beneficios, y al que una corporación sanitaria, HealthCare Management Investment Corp., aportó 70 millones de dólares de capital. Allí Venter desarrolló un procedimiento pionero para identificar genes en cadenas de ADN, una técnica (denominada *shotgun*) completamente diferente a la que se estaba utilizando en el Proyecto Genoma Humano (mientras que éste buscaba identificar un gen cada vez, el método de Venter rompía el genoma en millones de pequeños fragmentos, que se secuencian por separado obteniendo múltiples lecturas. Estas lecturas se ensamblan para finalmente, mediante poderosos computadores que buscan las regiones de solapamiento, reconstruir la secuencia completa del genoma).156 Con su método, diez veces más barato que el empleado por el proyecto público, y más rápido, Venter secuenció el genoma de una bacteria, *Hemophilus influenzae*, que produce meningitis y sordera, el primer genoma de un organismo vivo completado en la historia (los resultados fueron publicados en 1995).

En 1998, Venter anunció su intención de determinar la secuencia del genoma humano, lo que, evidentemente, implicaba competir con el proyecto público. Para alcanzar

tal fin, en junio de 1998 constituyó, aliándose con Applera Corporation, la compañía Celera Genomics (ya mencionada anteriormente), una compañía que esta vez sí que buscaba beneficios y en la que él era al mismo tiempo presidente y científico principal. Enseguida la compañía afrontó la tarea de secuenciar el genoma de la mosca *Drosophila melanogaster*, cuyo sistema nervioso central tiene muchos genes en común con el de los humanos. Era obvio que se trataba de un ensayo para enfrentarse al genoma humano. Los resultados de aquel primer proyecto de Celera fueron publicados en *Science* el 24 de marzo de 2000, en un artículo con 240 investigadores de todo el mundo figurando como autores.157 El número de genes que encontraron en la secuencia (que Venter consideraba de una precisión del 99,9 %) era de 14.000.

Por entonces, y haciendo honor a la raíz latina de su nombre (*celera*), la compañía dirigida por Venter ya estaba firmemente implicada en la secuenciación del genoma humano. De hecho, tres meses más tarde, el 26 de junio, Venter, en su calidad de presidente de Celera Genomics, y Francis Collins, desde abril de 1993 director del Proyecto Genoma Humano, realizaron un primer anuncio conjunto manifestando que habían completado la secuenciación del genoma humano. A pesar de lo grandilocuente de la declaración, en la que estuvo presente el presidente de Estados Unidos, Bill Clinton, y telemáticamente el primer ministro británico, Tony Blair, aún quedaba bastante que hacer. No se había dicho nada, por ejemplo, sobre cuántos genes forman el genoma humano. El 11 de febrero de 2001 se remediaba tal carencia, anunciándose que el ser humano tiene unos 30.000 genes, frente al número de alrededor de 100.000 que se suponía antes, aunque en la actualidad el número se estima que es entre 20.000 y 25.000.158 Tenemos, pues, poco más del doble de genes que una mosca y menos que el arroz, según se comprobó más tarde, cuando en abril de 2002, un equipo de investigadores formado por miembros del Instituto de Genómica de Pekín y del Centro del Genoma de Washington, anunció que el genoma de esta

planta cuenta con entre 50.000 y 60.000 genes. El 15 de febrero, el consorcio público presentaba sus resultados en *Nature*, mientras que Celera lo hacía un día después en *Science*.159

El coste aproximado de completar el primer mapa del genoma humano fue de 800 millones de dólares. En 2005, un equipo de investigadores de la Escuela de Medicina de Harvard presentó un método para secuenciar ADN que, según ellos, lograría alcanzar la misma meta empleando únicamente 2 millones de dólares en un primer momento y 20.000 dólares en un futuro próximo. Otras tecnologías más recientes ya han logrado secuenciar un genoma humano por 1.000 dólares.

Bill Clinton, bioterrorismo y el Proyecto Genoma Humano

Hemos visto que Bill Clinton, presidente de Estados Unidos, participó en el acto en el que el 26 de junio de 2000 se presentó por primera vez la secuenciación de genoma humano. En sus memorias, Clinton recordó que en la ceremonia de comienzo de curso en la U. S. Naval Academy, en 1998, propuso que se reforzara el sistema de inspección de la Convención de Armas Biológicas; que se vacunara a las fuerzas armadas contra amenazas biológicas, especialmente contra el ántrax, además de entrenar a los oficiales locales y personal de la Guardia Nacional para responder a ataques biológicos; que se mejoraran los sistemas nacionales de detección y de alertas, y que se incrementase la investigación y desarrollo para crear la siguiente generación de vacunas, medicinas e instrumentos de diagnóstico. Y en este punto aparecía Craig Venter:160

> Durante los meses precedentes [yo] había llegado a estar particularmente preocupado por la perspectiva de un ataque biológico, tal vez con un arma que había sido producida mediante ingeniería genética para resistir vacunas y medicinas. El diciembre anterior [1997] en el Renaissance Weekend [reunión durante un fin de semana en la que participan, por invitación, personas destacadas de diversos campos, entre ellos

> de la ciencia], Hillary y yo habíamos dispuesto cenar con Craig Venter, un biólogo molecular cuya empresa estaba intentando terminar de secuenciar el genoma humano. Pregunté a Venter sobre la posibilidad de que la cartografía genética permitiera a terroristas desarrollar genes sintéticos, tratar mediante ingeniería virus existentes o combinar la viruela con otro virus mortal para hacerla aún más dañina.

La recomendación de Venter a Clinton fue que leyese una novela, *The Cobra Event*, de Richard Preston, que reafirmó los temores del presidente. «Habíamos comenzado a trabajar en el asunto de la guerra biológica en 1993», continuaba señalando Clinton en sus memorias, «después de que la bomba en el World Trade Center dejase claro que el terrorismo podía golpear en casa, y de que un desertor de Rusia nos dijera que su país tenía grandes *stocks* de ántrax, viruela, Ébola y otros patógenos, y que había continuado produciéndolos incluso después de la desaparición de la Unión Soviética. Como respuesta, el mandato del programa Nunn-Lugar fue ampliado para incluir la cooperación con Rusia en armas biológicas al igual que en nucleares.» El ataque con gas sarín en el metro de Tokio en 1995 no hizo sino intensificar las medidas que introdujo Clinton. Entre estas medidas figuró una reunión que a instancias de Clinton se celebró en la primavera de 1998 y en la que junto a expertos en respuesta de emergencias participaron siete científicos, entre estos Craig Venter y Joshua Lederberg, biólogo que había obtenido el premio Nobel. «Me reuní con el grupo», explicaba Clinton, «durante varias horas para discutir la amenaza y lo que hacer con respecto a ella. Aunque había pasado la mayor parte de la noche anterior ayudando a cerrar el acuerdo de paz irlandés, escuché atentamente las presentaciones e hice muchas preguntas. Todo lo que oí confirmó que no estábamos preparados para ataques biológicos y que la ya cercana habilidad para secuenciar y reconfigurar genes tenía profundas implicaciones para nuestra seguridad nacional.»

En la declaración de Clinton nos encontramos con otra dimensión del Proyecto Genoma Humano que no conviene

dejar de lado porque la ciencia no constituye un compartimento estanco, ajeno a posibles repercusiones en dominios que inicialmente no se consideraban. La política, los intereses políticos, se introducen en prácticamente cualquier ámbito social o profesional.

No es sorprendente, por consiguiente, que el presidente Clinton asistiera a la presentación del primer borrador del genoma humano, acto al que también se refirió en sus memorias:[161]

> En la última semana de aquel mes [junio de 2000], organicé una reunión en la Sala Este de la Casa Blanca, donde casi doscientos años antes Thomas Jefferson había desplegado el innovador mapa del oeste de Estados Unidos que su ayudante Meriwether Lewis había realizado durante su valerosa expedición desde el río Misisipi al Océano Pacífico en 1803. Una multitud de científicos y diplomáticos se habían reunido para celebrar un mapa del siglo XXI: más de mil investigadores de Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Francia, Japón y China habían descodificado nuestro código genético. Después de que cada uno luchase durante años, Francis Collins, director del proyecto internacional genoma humano, financiado por el Gobierno, y el presidente de Celera, Craig Venter, se habían puesto de acuerdo para publicar juntos sus datos genéticos durante el mismo año. Craig era un viejo amigo, y yo había hecho todo lo posible para reunirlos. Tony Blair se unió a nosotros mediante una conexión vía satélite, dándome la ocasión de bromear de que la esperanza de vida de su hijo acaba de aumentar en unos veinticinco años.

PÚBLICO *VERSUS* PRIVADO Y EL PROYECTO GENOMA HUMANO

Hasta aquí los hechos «científicos», presentados con concisión. Pero es evidente que esta historia no se puede reducir únicamente a «hechos científicos». Hay más, mucho más.

En primer lugar, es preciso señalar que la aparición en escena de Venter y Celera Genomics ha sido buena para el proyecto de secuenciar el genoma de los humanos. Las previsiones más optimistas del Proyecto Genoma Humano

en lo que a completar la empresa para la que fue creado se refiere, situaban ese término en el año 2003. Las innovaciones aportadas por Celera, la competición que significó su aparición y el ritmo que ésta necesariamente debía llevar para intentar lograr su fin de rentabilidad, sirvieron de estímulo para el consorcio público. Por otra parte, como no podía ser de otra manera, desde el principio se hizo obvio el problema que significaba el que Celera quisiese rentabilizar sus inversiones. Mientras que cualquier persona interesada podía tener acceso libre a los datos obtenidos por el Proyecto Genoma Humano, no era así con los de Celera: la comunidad científica podía acceder libremente a sus datos de segmentos del genoma con menos de un millón de bases, y debía pedir permiso o pagar para trozos mayores, comprometiéndose a no comercializar con la información recibida, una condición desigual, ya que Celera se benefició desde el principio de la información puesta en circulación por el consorcio público internacional.

El trasfondo de todo era, obviamente, estar en la mejor situación posible para conseguir patentes. Ya en el año 2000, Celera había completado la solicitud de cerca de 7.000 patentes provisionales; esto es, había manifestado que había realizado un descubrimiento y que pretendía realizar una solicitud formal de patente en el plazo de un año. Su propósito era, según Venter, seleccionar entre cien y trescientos genes que cumplan el requisito de utilidad comercial y patentarlos. En una audiencia pública celebrada el 6 de abril de 2000 en el Congreso, Venter advertía sobre los peligros que implicaría, como solicitaban algunos, modificar la legislación de patentes para genes.[162] «Cambios en la ley de patentes deben ser considerados en el contexto de los efectos que tendrán en los esfuerzos que realizan las compañías farmacéuticas para descubrir nuevos fármacos.» Era necesario, añadía, proteger a las empresas, cada una de las cuales se enfrentaba a un gasto de entre 300 y 800 millones de dólares cada vez que tenía que intentar superar los procedimientos exigidos por la Food &

Drug Administration (Administración de Alimentación y Medicamentos) para aprobar un nuevo medicamento. Un año después, el 11 de julio de 2001, en otra comparecencia ante el Congreso, Venter se adjudicaba (probablemente sin exagerar) una representación mucho más amplia que su propia compañía comercial: «Estoy testificando en representación de la Organización de la Industria Biotecnológica (Biotechnological Industry Organization, BIO), que representa a casi mil compañías biotecnológicas, instituciones académicas, centros biotecnológicos estatales y organizaciones relacionadas en los cincuenta estados de Estados Unidos y otras treinta y tres naciones. Los miembros de BIO están implicados en la investigación y desarrollo de productos biotecnológicos para el mantenimiento de la salud, la agricultura, las industria y el medioambiente».163 El público, añadía, «debe tener confianza de que podrán beneficiarse de todos estos desarrollos tecnológicos sin temer que la información obtenida de esta manera sea usada en contra de ellos... En la actualidad, 117 productos biotecnológicos han ayudado a 250 millones de personas de todo el mundo. Otros 350 medicamentos dirigidos a combatir más de 250 enfermedades se encuentran en su última fase de desarrollo. Estos productos se dirigen a necesidades médicas hasta el momento sin resolver... La ansiedad del público podría limitar su potencial. BIO ha apoyado desde hace mucho la legislación federal que asegurará que la información médica individual de una persona, incluyendo información genética, no será mal utilizada. Consecuentemente, BIO apoya la legislación cuidadosamente elaborada que prohíbe la discriminación en seguros de salud basada en información genética».

Vemos como Venter se afanaba en asegurar que el público no debía temer nada de las compañías biotecnológicas y farmacéuticas que pretendían asegurarse los derechos de todo tipo de patentes genéticas. Es natural que se esforzase en tal sentido: el mundo de las patentes de genes y secuencias genéticas tenía una historia muy breve,

estando casi todo por hacer y decidir (como vimos, el derecho a conceder este tipo de patentes en Estados Unidos fue reconocido en 1980 por la decisión del Tribunal Supremo en el caso «Diamond versus Chakrabarty», que dictaminó que se podían patentar organismos vivos producidos por ingeniería genética).

No hay por qué sorprenderse de lo que está ocurriendo. ¿Esperábamos algo diferente en el mundo que hemos construido, un mundo que valora crecientemente la intervención de empresas privadas en, por ejemplo, la financiación de la investigación científica, como un fin perseguible para disminuir las pesadas cargas que soporta el Estado? ¿Por qué iba a regirse el mundo de la ciencia por leyes diferentes a las del mercado, en particular, a la búsqueda de beneficios? ¿Por qué se trata, en los casos que estoy comentando, de nuestra salud, de formas de vida, de cosas todas que nos son mucho más próximas que circuitos electrónicos o materiales diseñados a la carta? No seamos ingenuos. La biografía de Craig Venter, un magnífico científico, hay que insistir en este hecho, muestra con extrema claridad algunas de las características de este mundo, que no hay que esperar que llegue, por la sencilla razón de que ya está aquí, entre nosotros. Por cierto, en enero de 2002, Venter anunció que dejaba Celera Genomics, aparentemente debido a la agresiva política de la compañía, que, presionada por el socio capitalista para rentabilizar sus cuantiosas inversiones, compró una empresa farmacéutica y anunció su dedicación al descubrimiento de nuevos fármacos.

BIOLOGÍA/GENÓMICA SINTÉTICA

En junio de 2005 Craig Venter fue uno de los fundadores de una nueva empresa, Synthetic Genomics, que tenía como meta producir microorganismos modificados genéticamente que pudieran degradar combustibles y otros productos bioquímicos, esto es, que sirvieran para, por ejemplo, limpiar vertidos de petróleo. No es sorprendente,

por consiguiente, que cuatro años después ExxonMobil, la corporación multinacional del petróleo y gas, anunciase que colaboraría con Synthetic Genomics con 600 millones de dólares. Un primer resultado de enorme importancia llegó a finales de 2007 cuando el equipo dirigido por Venter consiguió sintetizar el genoma de *Mycoplasma genitalium*, la bacteria autorreplicante más pequeña que se conoce (denominaron al genoma *M. genitalium* JCVI-1.0); el artículo en el que se presentó el logro iba firmado por 17 científicos (Venter uno de ellos) y se publicó *online* en el número del 24 de febrero de 2008 de *Science* y en el del 29 de febrero en papel.164 Y en mayo de 2010 Venter anunció que había conseguido construir una célula bacterial controlada por un genoma sintetizado químicamente. El correspondiente artículo se publicó en *Science* y lo firmaban 24 investigadores, con Venter figurando en último lugar, algo frecuente en casos de los principales responsables de una investigación.165 Las primeras líneas de su resumen eran las siguientes: «Informamos del diseño, síntesis y montaje del par de 1,08 mega bases del genoma de *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn 1.0 partiendo de la información de la secuencia del genoma digitalizado y su trasplante en una célula recipiente *M. capricolum* para crear nuevas células *M. mycoides* que están controladas por el cromosoma sintético». En un libro dedicado a explicar «el amanecer de la vida digital», Venter explicó que «el día de su publicación *online*, 20 de mayo de 2010 (la versión impresa apareció el 2 de julio), medios de todo el mundo se reunieron para nuestra conferencia de prensa en Washington D. C. Acompañados de los editores de *Science* anunciamos el primer genoma sintético que funcionaba. Ham Smith explicó a los presentes que ahora teníamos los medios para diseccionar las instrucciones de una célula y determinar así cómo funciona. También nos referimos a nuestra más amplia visión; a saber, que el conocimiento obtenido al realizar este trabajo algún día conducirá sin duda a un resultado positivo para la sociedad mediante el desarrollo de muchas aplicaciones y productos importantes,

incluyendo biocombustibles, agua limpia y productos farmacéuticos y alimenticios. De hecho, cuando realizamos el anuncio ya habíamos comenzado a trabajar en formas de producir vacunas y crear algas sintéticas para convertir el dióxido de carbono en fuel».[166]

En más de un sentido, se puede decir que estos logros son similares al que llevó a cabo Friedrich Wöhler cuando produjo la urea en 1828.

El Proyecto de la Diversidad del Genoma Humano

Los avances que se produjeron en el conocimiento del genoma humano han tenido otras consecuencias, más aplicaciones que las reseñadas hasta ahora. Una particularmente importante ha sido la utilización de las técnicas de análisis genómico en el estudio de la evolución de la humanidad, esto es, la genética de poblaciones, una disciplina que integra genética y antropología. La persona que impulsó este tipo de estudios fue un genovés, Luigi Luca Cavalli-Sforza (1922-2016), que estudió en la Universidad de Pavía donde se licenció y doctoró en 1944.[167] Una vez doctorado trabajó en el Instituto Seroterápico de Milán, pero en 1948 obtuvo una beca para ampliar estudios en algún laboratorio inglés. Antes de decidir cuál escoger, asistió al Congreso Internacional de Genética, que tuvo lugar en Estocolmo, para presentar los resultados de sus investigaciones sobre los efectos de la mostaza nitrogenada y la radiación en bacterias. Aprovechó la ocasión para presentarse a quien era entonces posiblemente el científico más importante en la aplicación de las matemáticas a la genética, el británico Ronald A. Fisher (1890-1962), quien le ofreció trabajo en su laboratorio de Cambridge.

En *El origen de las especies*, Charles Darwin trataba de la competencia entre poblaciones de especies, pero no utilizó ningún procedimiento preciso para relacionar esa competencia con la generación de nuevas especies. No fue capaz de aplicar técnicas estadístico-matemáticas a sus

formulaciones naturalistas, algo que sí había hecho Gregor Mendel. El primer paso en la dirección de enriquecer la formulación darwiniana con un tratamiento matemático procedió de una persona inesperada, de un hombre nada interesado en las posibles aplicaciones de la matemática: Godfrey Harold Hardy (1877-1947). Lo que hizo este matemático inglés fue aplicar sus conocimientos matemáticos a la entonces incipiente genética mendeliana, publicando el resultado en una nota de apenas una página que apareció en el número del 10 de julio de 1908 de la revista *Science*: «Proporciones mendelianas en una población mixta».168 Al mismo resultado de Hardy llegó también el mismo año, independientemente (publicó su trabajo en *Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg*), el médico Wilhelm Weinberg (1862-1937), de ahí el nombre por el que es conocido el resultado: «ley de Hardy-Weinberg».169 El problema del que se ocupaba esta ley surgió en los primeros intentos de aplicar modelos matemáticos, aunque muy sencillos, a la aparición de modificaciones en la descendencia de una pareja, producidos si los padres se desviaban en un cierto grado de la media de la población. Los análisis teóricos demostraban que tales desviaciones terminaban desapareciendo, debilitadas en los cruces entre individuos. Así que, ¿cómo explicar la aparición de nuevas especies? En sus artículos, Hardy y Weinberg demostraron que si se supone, con Mendel, que existen unidades discretas que transmiten de padres a hijos los caracteres hereditarios, sólo se mantienen nuevos rasgos, que finalmente acaso produzcan especies diferentes, si aparecen fuerzas externas perturbadoras como la selección o la mutación. Sin ellas, y tal y como lo expresaba Hardy en su nota, «no existe el menor fundamento para la idea de que un carácter dominante puede mostrar tendencia a extenderse sobre una población completa, o que uno recesivo tienda a desaparecer».

Hardy y Weinberg fueron los primeros en observar que la matemática avanzada podía servir bien a los intereses de

la genética y análisis de poblaciones. No fueron los únicos, ni tampoco los más destacados de los que seguirían esta vía. Así, en la década de 1920 surgieron las aportaciones de Alfred Lotka (1880-1949) y de Vito Volterra (1860-1940), que introdujeron modelos, posteriormente clásicos, del comportamiento dinámico de especies que compiten (presas-depredadores). Notables son en este sentido sus respectivos libros: *Elements of Physical Biology* (1924) —posteriormente tomó el título, más adecuado de *Elements of Mathematical Biology*—, de Lotka, y *Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie* (1931), de Volterra.

Un año antes de la aparición del libro de Volterra, se publicó un texto más fundamental para comprender los procesos evolutivos, *The Genetical Theory of Natural Selection* (1930) de Ronald Fisher (1890-1962), que entonces trabajaba en la Estación Experimental Rothamsted (en 1933 se convirtió en director del Departamento de Eugenesia del University College de Londres, y en 1943 pasó a ocupar la cátedra Balfour de Genética de la Universidad de Cambridge). *The Genetical Theory of Natural Selection* fue un libro capital en el renacimiento de la teoría de la evolución de Darwin. Lo que hizo Fisher fue aplicar los métodos matemáticos propios de la estadística para introducir la teoría de la selección natural de Darwin en el único territorio en el que realmente tiene lugar la evolución, el de la genética de poblaciones, y al hacerlo contribuyó a elaborar una síntesis, informada por análisis matemáticos rigurosos, de la genética creada por Mendel y la teoría de Darwin.

En 1950 Cavalli-Sforza regresó al Instituto Seroterápico de Milán donde permaneció hasta 1951 cuando obtuvo puestos a tiempo parcial en las Universidades de Parma y Pavía; finalmente en 1961 obtuvo una cátedra en el Departamento de Genética de la Universidad de Parma. Fue al abandonar Milán cuando dio un giro a sus intereses científicos, que hasta entonces se habían centrado en la genética de bacterias pasando a dedicarse al estudio de poblaciones humanas. En sus propias palabras:170

> Tenemos mucho conocimiento sobre las poblaciones modernas, y el desarrollo reciente de la biología molecular nos brinda unas posibilidades casi ilimitadas de seguir ampliándolos. ¿Se pueden utilizar estos conocimientos para reconstruir la evolución humana, y cuáles son los problemas que esperamos resolver? Cuando empecé a pensar en ello trabajaba en la Universidad de Cambridge, en Gran Bretaña, en el departamento de genética dirigido por el profesor R. A. Fisher. Me ocupaba de la genética de las bacterias, y sólo a partir de 1951, cuando empecé a dar clases a tiempo parcial en la Universidad de Parma, tuve ocasión de ocuparme de la genética de las poblaciones humanas. Mi metamorfosis en genetista humano fue bastante lenta, y no fue hasta 1961 cuando decidí que había llegado el momento de tratar de resolver el problema específico de reconstruir la evolución humana a partir de datos genéticos modernos. Mientras tanto había tenido la posibilidad de desarrollar alguno de los métodos que se necesitan a este fin.

En colaboración con otros científicos, Cavalli-Sforza aplicó los conocimientos que había obtenido en Cambridge para desarrollar sofisticadas técnicas matemáticas para estudiar los desplazamientos y migraciones de poblaciones humanas, restringidos en principio a la región de Parma. En uno de sus primeros trabajos midió las variaciones de algunas propiedades de la sangre en función de la altitud de las poblaciones en que habitaban las personas objeto de estudio, así como de la densidad de población. Éste fue el punto de partida que le llevaría a convertirse —a partir de 1970, ya como catedrático en la Escuela de Medicina de la Universidad de Stanford, donde se jubiló en 1992— en el gran estudioso de la aplicación de la genética al estudio de las diferencias genéticas entre poblaciones humanas para reconstruir la historia y las rutas de la expansión de los humanos modernos durante los últimos 100.000 años. En uno de sus libros escribió:

> La acumulación de datos sobre muchos genes en miles de poblaciones ha producido un laberinto de millones de cifras que nos revelan la frecuencia de las distintas formas de más de doscientos genes. Mientras tanto se ha creado un cuerpo de

> conocimientos que resulta muy útil para controlar las posibles hipótesis sobre la historia evolutiva del hombre [...]. Darwin ya aconsejaba recurrir a caracteres no expuestos a selección natural para reconstruir la evolución. Hoy sabemos que además de la selección natural, el azar también puede influir en la evolución [...]. Pero sabemos que el azar causa fluctuaciones típicamente inconstantes y caprichosas; ¿cómo podemos fiarnos de él? A decir verdad, no hay por qué temer sus caprichos porque conocemos bien sus reglas, y sabemos que siempre nos revela los fenómenos que nos interesan si tenemos la fundamental precaución de estudiar un número suficiente de datos. Las sorpresas del azar disminuyen en la medida en que se amplían nuestras observaciones.[171]

Sus análisis demostraron, asimismo, que existía una fuerte relación entre las familias de lenguajes y la diversificación genética humana: el aumento de la distancia genética entre poblaciones humanas resultaba en un aumento correspondiente en la diversificación de idiomas. Recurriendo de nuevo a su libro *Genes, pueblos y lenguas*:[172]

> Hay importantes analogías entre la evolución de los genes y la de las lenguas. En ambos casos, un cambio en un individuo puede extenderse a toda la población, a partir de la persona en la que ha aparecido por primera vez. En el caso de los genes, al cambio lo llamamos *mutación*. Pasa de un individuo a otro de la siguiente generación, por lo que a veces se necesita mucho tiempo, el paso de muchísimas generaciones, para que se encuentre en todos los componentes de una población. El genoma, patrimonio hereditario, está muy bien escondido y protegido de las influencias exteriores. Los cambios del lenguaje son mucho más frecuentes que las mutaciones biológicas, y pueden pasar de unos individuos a otros sin que haya ningún parentesco entre ellos, y por eso también entre personas de edad parecida. No es necesaria, pues, la distancia de una generación entre el que enseña y el que aprende una lengua, mientras que el paso de los genes requiere por fuerza una generación. Es fácil entender que las lenguas pueden cambiar mucho más deprisa que los genomas. En efecto, si una palabra puede durar miles de años, un gen puede permanecer sin cambios durante millones y a veces miles de millones de años. Pese a estas diferencias, las similitudes entre las dos evoluciones siguen siendo importantes [...].

> Dos poblaciones aisladas entre sí se distinguen desde el punto de vista tanto genético como lingüístico. El aislamiento debido a las barreras geográficas, ecológicas y sociales, impide (o hace menos probables) los matrimonios entre las dos poblaciones, y por tanto también el intercambio genético. Entonces, las poblaciones evolucionarán independientemente y se volverán distintas. La diferenciación genética aumentará regularmente con el paso del tiempo. Podemos esperar exactamente lo mismo desde el punto de vista lingüístico: el aislamiento reduce o anula los intercambios culturales, y las dos lenguas también se diferencian. Aunque los cálculos del tiempo de separación entre dos lenguas, mediante la glotocronología, a veces dejan bastante que desear en cuanto a su precisión, en general se observa un aumento de la diferencia lingüística o genética a medida que se prolonga el aislamiento. Por tanto, tiene que haber una correspondencia básica entre el árbol lingüístico y el árbol genético, pues reflejan la misma historia de separaciones y aislamientos evolutivos.

Los esfuerzos de Cavalli-Sforza dieron lugar al establecimiento en 1991 de lo que se denominó Proyecto de la Diversidad del Genoma Humano (The Human Genome Diversity Project), con el objetivo de reunir los datos necesarios para estudiar la prehistoria humana, determinar las relaciones genéticas entre poblaciones humanas y proporcionar información valiosa sobre enfermedades genéticas. Una primera gran manifestación de este ambicioso proyecto fue la publicación en 1993 de un libro de gran formato, 535 páginas de texto y referencias, más 526 de mapas y gráficos, que firmaba (en primer lugar) L. Luca Cavalli-Sforza acompañado como coautores por Paolo Menozzi y Alberto Piazza: *The History and Geography of Human Genes* (Princeton University Press, Princeton). Cito de su «Prólogo»:

> Hace veinte años se efectuaron los primeros esfuerzos para reconstruir la historia de la diferenciación humana empleando las divergencias observadas entre grupos humanos. La base de datos comprendía frecuencias de genes, esto es, frecuencias de alelos en loci polimórficos de los que se sabe que claramente se heredan. Las frecuencias observadas son muy estables y parecen ser bastante insensibles a cambios medioambientales a corto

plazo. Existen, sin embargo, muy pocos, si es que existen, datos del pasado y la estabilidad temporal se infiere de la estabilidad espacial, esencialmente la regularidad de las distribuciones de frecuencias de genes y las muy pequeñas diferencias observadas entre poblaciones que viven en medioambientes muy diferentes. Afortunadamente, en los últimos tiempos, nuevos desarrollos en tecnología molecular han generado la esperanza de obtener información sustancial de individuos o poblaciones muertos hace mucho tiempo.

Con anterioridad la única fuente de información eran los datos obtenidos de la antropología física (incluyendo color de la piel, estructura corporal y rasgos faciales). Algunos de estos datos, especialmente las medidas de huesos, tenían la gran ventaja de poderse leer en los materiales fósiles. Desgraciadamente, los datos disponibles del pasado han mostrado cambios evidentes en los últimos doscientos años, del tipo, por ejemplo, de la tendencia a aumentar la estatura y cambios en otras medidas observadas en Europa. Es difícil adscribir estas observaciones a causas genéticas siendo más probable que representen respuestas a cambios ambientales recientes. Son, por consiguiente, menos adecuados para el estudio de la historia genética. Incluso así, grandes diferencias observadas en el material fósil han sido importantes para reconstruir las principales líneas de evolución del género *Homo*.

Hay otra razón importante para iniciar un gran programa dedicado a analizar ahora la diversidad humana. Mientras que nuestras habilidades potenciales para analizar la evolución humana están aumentando, cambios sociales que se están produciendo en países en desarrollo destruyen rápidamente las identidades —si no la misma existencia— de las poblaciones aborígenes más importantes. Por consiguiente, la investigación organizada para salvar la preciosa información sobre nuestro pasado adquiere una nueva urgencia [...].

Este libro comenzó con el deseo de analizar la geografía de los genes humanos, utilizando nuevas técnicas que hemos desarrollado con el propósito de estudiar las antiguas migraciones humanas. Mientras realizábamos el exigente trabajo de computar la enorme base de datos existente, se hizo evidente que era necesario analizar la misma información con otras técnicas, desarrolladas por nosotros y por otros, que pueden conducir a conclusiones de interés histórico. Pero la ardua tarea de reconstruir la historia de la evolución humana difícilmente puede realizarse satisfactoriamente utilizando sólo evidencias suministradas por los datos genéticos. También es

útil informaciones procedentes de fuentes históricas, lingüísticas, antropológicas y arqueológicas, que deben compararse con los datos genéticos si queremos obtener conclusiones completamente satisfactorias.

En resumen, el Proyecto de la Diversidad del Genoma Humano terminó convirtiéndose en un esfuerzo científico de carácter interdisciplinar que ha arrojado, y continuará haciéndolo, luz sobre la historia de nuestra especie, al menos durante los últimos 100.000 años.[173]

Barack Obama y el Proyecto BRAIN

Bill Clinton no fue el único presidente de Estados Unidos asociado a un gran proyecto científico. Barack Obama también estuvo presente en el acto de presentación de otro importante proyecto científico, dedicado en esta ocasión al estudio del cerebro humano.

Obama tomo posesión de la presidencia el 20 de enero de 2009. No tardó mucho en mostrar su interés por la ciencia. El 27 de abril del mismo año visitó la sede de la National Academy of Sciences estadounidense, que celebraba en su sede de Washington D. C. su 146 reunión anual. Y no sólo la visitó sino que pronunció una conferencia en la que manifestó su intención de dar a la ciencia y a la tecnología un papel central en el futuro de la nación así como en la recuperación de la entonces maltrecha economía nacional. Esbozó en particular los pasos que pretendía dar para aumentar el gasto en investigación, alcanzando el 3 % del PIB federal en I+D, conseguir independencia energética y mejorar la educación en ciencia. «Bajo mi Administración», dijo Obama, «los días en los que la ciencia tomaba un puesto secundario frente a la ideología se han terminado.» Y dirigiéndose específicamente a los científicos que le escuchaban manifestó: «Quiero retarles a que empleen su amor y conocimiento de ciencia para despertar un sentido de asombro y excitación en una nueva generación». Y añadió:

> Hoy, por supuesto, nos encontramos frente a retos más complejos de los que jamás nos hemos enfrentado: un sistema médico que sostiene la promesa de desvelar nuevas curas y tratamientos —asociados a un sistema de salud que apunta a una potencial bancarrota para familias y negocios—; un sistema de energía que mueve nuestra economía pero que simultáneamente hace peligrar a nuestro planeta; amenazas a la seguridad que buscan explotar la propia interconectividad y transparencia tan esenciales a nuestra prosperidad [...].
>
> En este difícil momento hay quienes dicen que no podemos permitirnos invertir en ciencia, que apoyar a la investigación es de alguna manera un lujo en momentos definidos por necesidades. Estoy totalmente en desacuerdo. La ciencia es más esencial para nuestra prosperidad, nuestra seguridad, nuestra salud, nuestro medioambiente y nuestra calidad de vida de lo que ha sido nunca antes.

Las ciencias biomédicas, la lucha contra enfermedades, fue uno de los apartados a los que Obama prestó particular atención en aquella ocasión:

> Gracias a progresos recientes —no sólo en biología, genética y medicina, sino también en física, química, ciencia de la computación e ingeniería— tenemos la capacidad de progresar enormemente contra las enfermedades en las próximas décadas. Y es por esto que mi Administración se compromete a aumentar la financiación de los Institutos Nacionales de la Salud, incluyendo 6.000 millones de dólares para apoyar la investigación sobre el cáncer, parte de un plan plurianual, sostenido para duplicar la investigación sobre el cáncer en nuestro país.

Prácticamente cuatro años después, iniciado su segundo mandato presidencial, Obama encabezó el acto al que me refería al comienzo de esta sección: la presentación de un gran proyecto para estudiar el cerebro humano. Así es como la sección de noticias de la BBC comentaba el acto celebrado en la Casa Blanca el 2 de abril de 2013:

> El Presidente de Estados Unidos ha desvelado una nueva iniciativa para cartografiar el cerebro.
>
> Hablando en la Casa Blanca, ha anunciado una inversión

inicial de100 millones de dólares para arrojar luz sobre el funcionamiento del cerebro y proporcionar claves sobre enfermedades como el Alzheimer y la epilepsia.

El presidente Obama dijo que iniciativas como el Proyecto Genoma Humano habían transformado la genética; ahora quiere hacer lo mismo con el cerebro.

El proyecto será desarrollado por científicos pertenecientes tanto al sector público como al privado.

El proyecto se llama Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies, o BRAIN (Investigación del Cerebro mediante neurotecnologías innovadoras avanzadas).

Obama anunció que el proyecto BRAIN comenzaría en 2014 y en él tomarían parte los Institutos Nacionales de la Salud, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (Defense Advanced Research Projects Agency) y la Fundación Nacional para la Ciencia. Del sector público estarían presentes el Instituto Allen para la Ciencia del Cerebro, que se había comprometido a gastar 60 millones de dólares anuales en proyectos relacionados con BRAIN, y el Instituto Salk de Estudios Biológicos, que había dedicado 28 millones de dólares. En conjunto, según el presidente, participarían en el proyecto 80 instituciones europeas de investigación y algunas no europeas ni estadounidenses. Un Comité de Ética supervisaría los trabajos.

El cerebro humano constituía, y continúa constituyendo, uno de los mayores retos para la ciencia. Se sabe mucho sobre algunas de las funciones cerebrales, en qué regiones se ubican habilidades específicas humanas, pero se ignora la causa de numerosas enfermedades mentales, al igual de cómo es que el cerebro tiene conciencia de sí mismo. «Los humanos», señaló Obama, «podemos identificar galaxias alejadas a años luz, podemos estudiar partículas más pequeñas que el átomo, pero todavía no hemos desvelado el misterio de 3 libras de materia situada entre nuestros oídos.»

Se puede comprender fácilmente la complejidad del problema sin más que tener en cuenta que el cerebro humano está formado por en torno a cien mil millones de células, las neuronas, las «células del pensamiento», como

las denominó Santiago Ramón y Cajal, cada una de ellas conectada —por medio de las proyecciones ramificadas arborescentes llamadas axones y dentritas, la mayoría de las cuales terminan en unas estructuras diminutas, las sinapsis— a otras diez mil neuronas que, una vez estimuladas, crean influjos nerviosos que, a su vez, engendran mediadores químicos que atraviesan el espacio intercelular para llegar a otras neuronas. Cien mil millones de neuronas, cada una pudiendo tener de una a diez mil conexiones sinápticas con otras neuronas, dan lugar a un conjunto de interconexiones de, aproximadamente, ¡10^{15} conexiones posibles! ¡En un solo cerebro! Desde esta perspectiva, es lícito considerar al cerebro como uno de los objetos más complejos, si no el que más, del Universo. ¿Sorprenderá en consecuencia que estemos lejos de comprenderlo, que no sepamos cómo eso que llamamos «cerebro» integra y coordina tanta actividad, tanto intercambio de información, tanta diversidad y tanta especialización, que ignoremos cómo los flujos producidos por esas señales a través de redes neuronales se convierten en pensamientos, sentimientos y acciones?

Para lograr su gran objetivo, el de reconstruir un cerebro humano que permita desarrollar nuevos tratamientos neurológicos, BRAIN planeaba utilizar modelos y simulaciones basadas en supercomputadoras. Se trataba, se trata, de un proyecto eminentemente interdisciplinar. Semejante interdisciplinariedad se manifestaba con claridad en un artículo publicado en el número del 21 de junio de 2012 de la revista *Neuron*, que se considera algo así como el manifiesto fundacional del Proyecto BRAIN. Se titulaba «The Brain Activity Map Project and the Challenge of Functional Connectomics» («Proyecto para cartografiar la actividad del cerebro y el reto de la conectogenómica funcional») y lo firmaban seis científicos: A. Paul Alivisatos, Miyoung Chun, George M. Church, Ralph J. Greenspan, Michael L. Roukes y Rafael Yuste, un español doctorado por la Universidad Autónoma de Madrid, que era ya ciudadano estadounidense y *professor*

en la Universidad de Columbia (Nueva York), y quien más había impulsado la idea.[174] Una simple mirada a los lugares de trabajo de estos autores revela lo interdisciplinar del proyecto: División de Ciencia de Materiales y Departamento de Química de Berkeley (Alivisatos), Departamento de Genética de Harvard (Church), Instituto Kavli del Cerebro y de la Mente (Greenspan), Instituto Kevin de Nanociencia y Departamento de Física del California Institute of Technology (Roukes) y Departamento de Ciencias biológicas de Columbia (Yuste).

La revolución de CRISPR

El ADN recombinante constituyó un gran paso adelante en lo que a la manipulación del genoma se refiere, pero más importante fueron un sistema de secuencias repetidas en el genoma, bautizado con el nombre de CRISPR, acrónimo de «Clustered Regularly Interspaced Palindromic Repeats», esto es, «Repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas», y la técnica para modificar genes a la que dio lugar y que adoptó el mismo nombre. El inicio de esta revolución tuvo lugar inadvertidamente en 1986 cuando un doctorando de la Universidad de Osaka, Yoshizumi Ishino, estaba secuenciando un gen de la bacteria *Escherichia coli*. Ishino consiguió determinar los 1.038 pares de bases que formaban aquel gen y en el último párrafo del artículo que publicó mencionaba: «Se ha encontrado una estructura inusual; cinco secuencias de veintinueve nucleótidos con una homología elevada han resultado ser repeticiones directas».[175] Se trataba de cinco segmentos de ADN idénticos entre sí, separadas por secuencias de ADN de apariencia normal, que Ishino llamó «espaciadores». Y concluía: «No se conoce el sentido biológico de esas secuencias».[176]

Muy diferente fue el caso de Francisco Mojica (n. 1963), también un doctorando, pero de la Universidad de Alicante. No sorprendentemente, Mojica, que inició sus investigaciones en 1990, escogió estudiar una arquea,

organismo unicelular sin núcleo, *Haloferax mediterranei*, presente en las marismas de Santa Pola y que mostraba una gran tolerancia a la sal (esas marismas alicantinas son diez veces más saladas que las aguas oceánicas). Al estudiar su genoma, Mojica encontró una estructura muy peculiar, en la que se repetían, nítidamente separadas, ciertas unidades bioquímicas.[177] Estas estructuras no tenían nombre, pero en 2000 un grupo holandés le propuso que les diera uno y eligió CRISPR. En 2003, después de haber introducido técnicas bioinformáticas de análisis, se dio cuenta de que en realidad estaba descubriendo unas secuencias repetitivas de ADN que algunas bacterias utilizan como mecanismo de defensa frente a infecciones de virus. Reconociendo la importancia de su hallazgo, Mojica preparó un artículo que envió a la prestigiosa revista *Nature*, que lo rechazó en noviembre de 2003, con el argumento de que la idea era conocida. En enero de 2004, otra revista, los *Proceedings of the National Academy of Sciences* de Estados Unidos, decidió que el artículo carecía de suficiente «novedad e importancia» para siquiera someterlo a revisión. Algo parecido sucedió con *Molecular Microbiology and Nuclei Acid Research*. Finalmente, el *Journal of Molecular Evolution* lo publicó en 2005, pero tras doce meses de revisiones.[178] Nada nuevo, en realidad, en la historia de la ciencia: un tipo apenas conocido en el mundo científico, de una universidad «menor», que pretende que ha hecho un descubrimiento importante.

Aquel inicio terminó desarrollándose en líneas no previstas inicialmente, en las que participaron numerosos investigadores, entre los que sobresalieron la estadounidense Jennifer Doudna (n. 1964) y la francesa Emmanuelle Charpentier (n. 1968), y en particular el artículo del que fueron principales responsables, publicado en *Science* en 2012.[179] En la técnica que desarrollaron, que se puede describir como un corta y pega genético, desempeñaba un papel central una enzima, Cas9, que iniciaba el proceso de corte, de ahí que sea denominado CRISPR-Cas9. Fue a partir de este trabajo —y de otro,

prácticamente simultáneo, del lituano Virginijus Siksnys— cuando la atención sobre CRISPR se disparó, aplicándose, por ejemplo, para intervenir en el genoma de organismos como la levadura, el pez cebra, la mosca de la fruta o monos. No es sorprendente que Doudna y Charpentier recibieran el Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2015 por, como se dijo al anunciar el galardón, sus trabajos, «que han conducido al desarrollo de una tecnología que permite modificar genes con gran precisión y sencillez en todo tipo de células, posibilitando cambios que suponen una verdadera edición del genoma». Ni que en 2020 obtuvieran el premio Nobel de Química «por el desarrollo de un método de edición genética».

CRISPR y Ética

En un artículo publicado en enero de 2016 en una revista de referencia, *Cell*, «The Heroes of CRISPR», Eric S. Lander resumía la importancia de CRISPR:[180]

> Es difícil recordar una revolución que haya barrido la biología más rápidamente que CRISPR. Sólo hace tres años que científicos informaron que el sistema CRISPR —un sistema inmunológico adaptativo que utilizan los microbios para defenderse contra virus invasores recordando y apuntando sus secuencias de ADN— podría ser reorientando convirtiéndolo en una sencilla y segura técnica para editar, en células vivas, los genomas de mamíferos y otros organismos. Pronto se adaptó CRISPR para un amplio rango de aplicaciones —creando modelos complejos de animales para enfermedades y cánceres heredables en humanos; realizando extensos reconocimientos en células humanas para marcar los genes que subyacen en procesos biológicos; activando o desactivando genes; y modificando genéticamente plantas— y se está utilizando en miles de laboratorios de todo el mundo. La posibilidad de que se pueda utilizar CRISPR para modificar la línea germinal humana ha estimulado un debate internacional.[181]

Es particularmente interesante comprobar cuál es la opinión de Jennifer Doudna sobre el nuevo mundo genético

a cuyo nacimiento ella tanto ayudó. Citaré para ello de un libro que ha escrito en colaboración con Samuel Sternberg:[182]

> Con tal de que el código genético de algún rasgo en particular sea conocido, los científicos pueden usar CRISPR para insertar, editar o borrar el gen asociado en virtualmente cualquier genoma de una planta o de un animal vivo. Este proceso es mucho más simple y efectivo que cualquier otra tecnología de manipulación génica existente. Prácticamente de un día para otro, nos hemos encontrado en la cúspide de una nueva era de ingeniería genética y dominio biológico, una era revolucionaria en la cual las posibilidades sólo están limitadas por nuestra imaginación.
>
> El reino animal ha sido el primero y, por ahora, el mayor campo de pruebas. Por ejemplo, los científicos han utilizado CRISPR para generar una versión genéticamente mejorada de los beagles y crear así perros con un físico supermusculado a lo Schwarzenegger, cambiando una sola letra del ADN que controla la formación de los músculos. En otro caso, mediante la inactivación de un gen del genoma del cerdo que responde a la hormona del crecimiento, los investigadores han creado microcerdos, puercos no mucho mayores que un gato grande que pueden venderse como mascotas [...].
>
> Experimentos recientes de CRISPR han servido para «humanizar» el ADN de los cerdos, dando esperanzas de que algún día estos animales puedan ser usados como donantes de órganos para los seres humanos [...].
>
> Para tratar muchas enfermedades, CRISPR ofrece el potencial de editar y reparar directamente genes mutados en pacientes humanos. Hasta ahora sólo hemos podido entrever sus capacidades, pero lo que hemos visto en pocos años es extraordinario [...].
>
> Pero existen otras implicaciones profundas para la tecnología CRISPR: no sólo puede usarse para tratar enfermedades en los seres humanos vivientes, sino también para prevenirlas en los futuros seres humanos. La tecnología CRISPR es tan sencilla y eficiente que los científicos podrán explotarla para modificar la línea germinal humana —la corriente de información genética que conecta a una generación con la siguiente—. Y no tengan duda, esta tecnología será utilizada —algún día, en algún lugar — para cambiar el genoma de nuestra propia especie de modo que sea heredable, cambiando para siempre la composición

genética de la humanidad.

El mismo año, 2017, en que se publicó el libro del que están extraídas las anteriores líneas, comenzaba a hacerse realidad la previsión de Doudna de la posibilidad de modificar no sólo células somáticas sino también germinales, lo que significa intervenir en la herencia. El responsable fue un ambicioso científico chino, He Jiankui (n. 1984), profesor de Biología en la Universidad de Ciencia y Tecnología del Sur, en Shenzhen, una ciudad de 20 millones de habitantes fronteriza con Hong Kong. Allí, y con el apoyo económico del gobierno chino, que había identificado la ingeniería genética como una pieza destacada para el futuro económico del país, He fundó en 2012 una empresa de fabricación de máquinas de secuenciación genética. «A lo largo de los siguientes seis años, la empresa de He recibió más de cinco millones y medio de dólares de fondos gubernamentales. En 2017, su secuenciadora genética estaba en el mercado y la empresa, de la que He contaba con un tercio de las acciones, estaba valorada en 313 millones de dólares», ha explicado Walter Isaacson.[183]

Inicialmente, He utilizó su tecnología secuenciadora para diagnosticar enfermedades genéticas, pero no tardó demasiado en pensar en editar, no sólo leer, el genoma humano utilizando CRISPR-Cas9. Y el 26 de noviembre de 2017 anunció que había utilizado esta técnica para eliminar en el genoma de una niña un gen, el denominado CCR5, que permite al virus del sida entrar en el sistema inmunológico de una persona destruyéndolo. Para entender lo que representa este hecho es preciso explicar en primer lugar que la niña en cuestión es una de las gemelas, Lulu y Nana, que nacieron a principios de octubre concebidas mediante la técnica de fertilización *in vitro*. Formaban parte de un estudio (experimento) en el que al parecer participaron siete parejas, con la condición de que el padre putativo fuese portador del virus del sida. El gen CCR5 fue eliminado de una de las niñas, pero no de la otra.

La reacción ante el anuncio fue de repulsa general. Un

problema de naturaleza científica es que aunque existe un amplio catálogo de genes que se asocian a enfermedades, como pueden ser la fibrosis quística o la distrofia muscular de Duchenne, el genoma no es un conjunto de elementos (genes) independientes entre sí, y todavía no se sabe qué efectos puede tener en un sujeto el intervenir en una parte de él. Y luego, o más bien antes, está la dimensión ética. Precisamente por todo esto en la primera reunión del Congreso Internacional de Edición Genómica, que tuvo lugar en Hong Kong en 2015, se había acordado que no se debían utilizar las técnicas de edición de genes en ningún embarazo hasta que no quedasen claras las cuestiones asociadas de seguridad y ética. No dejó de ser significativo que el anuncio del doctor He se produjera en el segundo de esos congresos. Tampoco debe pasar desapercibido que las posibles ventajas de lo que se pretendía en este «tratamiento» no son tantas: cuando se recurre a la fertilización *in vitro* y el donante de esperma es un varón portador del virus del sida, se «limpia» el semen y los riesgos de infección son pequeños.[184]

Entre los que expresaron repulsa estaba David Baltimore, recordemos, uno de los participantes destacados de la conferencia de Asilomar. Pero también estaba quienes no vieron con ojos tan críticos lo que hizo He, asumiéndolo como inevitable (uno de ellos es el genetista biomolecular de Harvard, George Church, quien manifestó: «El genio ya está fuera de la botella»). Sin embargo, dominaron las reacciones negativas, alguna de las cuales sufrió con dureza el propio He. Así describe Isaacson lo que sucedió:[185]

> En lugar de aclamarlo como a un héroe nacional, como él había fantaseado, He terminó yendo a juicio a finales de 2019 en el Tribunal Popular de Shenzhen. El proceso tuvo muchos de los elementos de un juicio justo: se le permitió contar con sus propios abogados y hablar en su defensa. Sin embargo, dado que se había declarado culpable de la acusación de «práctica médica ilegal», no había ninguna duda en torno al veredicto. Lo condenaron a tres años de prisión y a una multa de 430.000 dólares, y quedó inhabilitado de por vida para trabajar en ciencias reproductivas. «Buscando fama y provecho, violó

deliberadamente las regulaciones nacionales correspondientes y cruzó los límites fundamentales de la ética médica y científica», declaró el tribunal.

Las noticias chinas oficiales acerca del juicio revelaron también que una segunda mujer había dado a luz a un tercer bebé CRISPR diseñado por He. No se dieron detalles del bebé, ni tampoco del estado actual de Lulu y Nana, las gemelas CRISPR originales.

Doudna fue otro de los científicos que recibió con desagrado la noticia de la iniciativa de He. No obstante, ya antes se había dado cuenta de que hacer realidad las posibilidades implícitas en CRISPR era sólo cuestión de tiempo. Citando de nuevo su libro con Sternberg:[186]

> No creo que se pueda defender éticamente una prohibición completa de la modificación de la línea germinal, ni creo que tengamos justificación para evitar que los padres usen CRISPR para incrementar las posibilidades de tener hijos sanos relacionados genéticamente con ellos, siempre que los métodos sean seguros y sean ofrecidos de forma igualitaria. Tampoco sé cómo podemos permitir la edición de línea germinal si no hacemos un esfuerzo consciente para apoyar la elección de los padres de procrear de la manera clásica y no redoblamos nuestro compromiso de construir una sociedad en la que todos los seres humanos sean respetados y tratados por igual, independientemente de su constitución genética. Si podemos cumplir estos criterios —si podemos superar la estrecha línea entre la prohibición de CRISPR en detrimento de la salud de ciertos individuos y su uso excesivo subvirtiendo los valores de nuestra sociedad—, seremos capaces de usar esta nueva tecnología de un modo que es inequívocamente bueno.

No obstante, Doudna reconocía algo evidente: que «comenzar a discutir sobre ética y seguridad es una cosa; llegar a un acuerdo es otra completamente distinta». La única manera de proceder con seguridad era, es, que los gobiernos asuman «un papel en la supervisión y regulación de los métodos que alteran la línea germinal humana. Pero ahí queda», concluía, «mucho trabajo por hacer, ya que las actuales regulaciones gubernamentales sobre este tema son variables y en general les falta garra».

Mucho más radical era la opinión del influyente

psicólogo cognitivo, lingüista y ensayista de la Universidad de Harvard Steven Pinker, quien en un artículo publicado en *The Boston Globe* el 1 de agosto de 2015 manifestó:

> Una poderosa nueva técnica para editar genomas, CRISPR-Cas9, es la última en una serie de avances en biotecnología que han suscitado preocupaciones relativas a la ética de la investigación biomédica e inspirado llamamientos de moratorias y nuevas regulaciones. Es cierto que la biotecnología tiene implicaciones morales extraordinarias. Pero no son las que preocupan a los que se preocupan.
>
> ¿Tiene usted un amigo o familiar que haya muerto prematuramente o soportado años de sufrimiento por una enfermedad física o psiquiátrica, tales como cáncer, problemas de corazón, Alzheimer, Huntington, Parkinson o esquizofrenia? Por supuesto que tiene: el coste de la enfermedad lo siente todo ser humano. El Proyecto «Global Burden of Disease» («Carga Global de la Enfermedad») ha intentado cuantificarlo estimando el número de años perdidos por muertes prematuras o debido a incapacidad. En 2010 era 2.500 millones, lo que significa que alrededor de un tercio de la potencial vida humana se ha perdido. La cuenta debida a crimen, guerras y genocidios no se acerca en absoluto a esa cifra.
>
> El sufrimiento físico y la muerte temprana han sido considerados desde hace mucho una parte ineluctable de la condición humana. Pero la ingenuidad humana está cambiando ese destino aparente [...]. La mejora, aunque desigual geográficamente, es mundial [...].
>
> Parte de la mejora es consecuencia del desarrollo económico. Los ciudadanos de los países más ricos viven más y con mejor salud debido a medidas básicas de salud pública, e intervenciones médicas han conquistado muchos de los males infecciosos, maternales, neonatales y nutricionales que continúan costando peaje (aunque menor) en el mundo en desarrollo. Pero no todo lo que se ha ganado ha sido debido a esto. Avances en medicamentos, cirugía y epidemiología han significado reducciones en años perdidos ante enfermedades recalcitrantes en todos los rangos de edad, tanto en los países ricos como en los pobres. Según vayan abaratándose los tratamientos y los países pobres haciéndose más ricos, estas ganancias se difundirán.
>
> La investigación biomédica, en consecuencia, promete vastas mejoras en vida, salud y desarrollo. Simplemente, imagine lo

> feliz que estaría si una persona amada que falleció prematuramente estuviera viva, o si una incapacitada fuera más vigorosa; y multiplique tal beneficio por varios miles de millones, perpetuamente. Dada esta potencial bonanza, la principal meta moral de la bioética actual se puede resumir en una sola frase.
>
> Quítense de en medio.
>
> Una bioética verdaderamente ética no debería poner palos en las ruedas de la investigación en forma de burocracia, moratorias o amenazas de acciones judiciales basándose en principios nebulosos, pero arrolladores, como la «dignidad», lo «sagrado» o la «justicia social».

Vivimos, como vemos, en un mundo, en el que cada vez proliferan más nuevos dominios, hijos de la biomedicina, con nombres como «biotecnología», «ingeniería genética», «genomas» y «genómica», «células madre», «proteómica», «clonación», o «transgénicos», al igual que otros como «ética», «ADN y medicina forense», «patentes» o «privacidad y discriminación». Los conocimientos que hemos y continuamos obteniendo de, por ejemplo, genomas de diversas especies, incluida, claro, la nuestra, agitan todo tipo de problemáticas y perspectivas científicas y médicas: posibilidades de intervenir, por primera vez en la historia de la humanidad, con una rapidez que no pudo soñar ni Darwin ni quienes siguieron la senda que él abrió en la evolución de las especies, territorio hasta ahora prácticamente inexpugnable debido a su lentitud y aleatoriedad; combatir las enfermedades (un gen o grupo de genes, una enfermedad) o incidir en prácticamente cualquier característica humana, cuestión ligada a la sempiterna discusión sobre la importancia de la herencia frente al medio en el que nos desarrollamos como seres vivos («naturaleza» *versus* «crianza»); métodos de reproducción; o las relaciones existentes entre la ciencia del ADN y la industria farmacéutica. Y no olvidemos que esta nueva tecnociencia está poniendo en nuestras manos valiosísimas herramientas, como son las técnicas para el análisis de las huellas genéticas y para desentrañar la historia de nuestra especie. ¿Y qué decir de las

posibilidades que abren las células madre? ¿Quién hubiera pensado hace unos pocos años que podrían existir unas células con la capacidad de convertirse en tejidos diversos?

Las incertidumbres que generan estos conocimientos son muy numerosas. Prácticas eugenésicas (¡de nuevo este viejo fantasma del pasado!). Abusos e indefensión ante, por ejemplo, compañías de seguros médicos para las que lo importante, por encima de todo, son los beneficios, y que en busca de ellos pueden intentar exigir información genética a quienes deseen asociarse a ellas, para rechazar a los que son «genéticamente un riesgo». Las implicaciones de las situaciones posibles pueden llegar a límites que uno casi está tentado de denominar absurdos. Hace no mucho leía un escrito de James Watson que me produjo una gran impresión. Analizando los mundos éticos que abre la investigación actual sobre el código genético, Watson manifestaba en una conferencia que pronunció en Milán en 1994:187 «Incluso en el caso de que existan leyes y normativas satisfactorias, todavía habrá muchos dilemas que no podrán tratarse fácilmente con estos medios. Por ejemplo, ¿qué responsabilidad tiene una persona de conocer su constitución genética antes de decidirse a procrear un hijo? En el futuro, ¿se nos considerará moralmente negligentes cuando, a sabiendas, permitamos el nacimiento de niños con defectos genéticos graves? Y las víctimas de tales enfermedades, ¿tendrían posteriormente base legal contra sus padres, que no habrían emprendido ninguna acción para evitar que llegaran al mundo con pocas oportunidades de disfrutar de una vida sin dolor y sin sufrimiento emocional?».

Sabemos demasiado bien que no es ésta una posibilidad impensable. El suelo, en definitiva, tiembla bajo nuestros pies, y cual presagio de terremoto no sabemos qué consecuencias tendrán todos estos avances para la humanidad. ¿Cómo en semejante situación, rodeados de provisionalidad, podemos desarrollar algún sentido de pertenencia? ¿Qué podemos dejar a nuestros hijos? ¿Alguna escala de valores, más o menos segura, una «visión del

mundo» que les ayude a orientarse en el camino de sus vidas? Pero ¿cómo les vamos a dejar eso, si todo cambia continua, rápida, frenéticamente, si lo que ayer era de una forma hoy puede ser de otras muy diferentes, ante las cuales debemos elegir?

Son preguntas difíciles de responder, sin duda. Algunos retroceden espantados ante ellas, encontrando auxilio en las viejas, muchas de ellas ya míticas, respuestas, rechazando todo lo bueno que la nueva ciencia biomédica promete: nada más y nada menos que la reducción del sufrimiento (piensen, por ejemplo, en que llegará un día, no lejano, en el que la terapia génica —técnicas cuyo objetivo es aportar un gen para paliar una insuficiencia cualitativa o cuantitativa de otro gen— se haya desarrollado lo suficiente y con seguridad para poder curar a los denominados «niños burbuja», niños desprovistos de defensas inmunitarias que deben pasar su vida en cámaras completamente esterilizadas). Aunque éste es un libro de historia, y la historia debe intentar, siempre que sea posible (que no siempre lo es) no juzgar, sino presentar casos lo más nítida y rigurosamente argumentados y justificados, quiero expresar mi opinión. La opinión de que prefiero tener que plantearme preguntas difíciles, arriesgadas y acaso dolorosas, que conformarme con respuestas basadas en la ignorancia, o en dar la espalda al conocimiento, esto es, mirar hacia el pasado y no hacia el futuro. El conocimiento científico, lo sabemos muy bien, puede provocar sufrimiento, pero al margen de que podemos, y debemos, combatir tales perversiones, ¿negará alguien que en su conjunto, contemplado a la luz de la historia, ha dado origen a mucho más bienestar —y a liberarnos de mitos— que dolor?188

Capítulo 15

LA TIERRA EN EL ANTROPOCENO

El planeta Tierra es nuestro hogar; constituye una trivialidad decir que no habríamos llegado a existir sin él. Evidentemente, cualquier historia que se precie, del tipo que sea, incluyendo una con pretensiones socioeconómicas, debe tenerlo en cuenta pues las ligaduras que impone condicionan todo tipo de actividades. En el siglo XX se hicieron manifiestas dos «ligaduras» particularmente importantes para el futuro de la humanidad, la del cambio climático y la de la pérdida de biodiversidad, ambas provocadas por los humanos, de ahí que se haya acuñado para nuestra época el término de «Antropoceno», un neologismo creado por Paul Crutzen, de quien tendré más que decir en este capítulo. El término surgió en un congreso científico que se celebró en Cuernavaca en 2000, dedicado al estudio de cómo opera la Tierra entendida como un sistema propio. En una de las sesiones se utilizó una y otra vez el término «Holoceno», para denominar «la época geológica que comenzó poco después de la última Edad de Hielo, hace unos 11.700 años, y que llega hasta la actualidad». La continua utilización de este término, que englobaba tanto al mundo de los primeros granjeros-agricultores con el dominado por elementos como el petróleo o la electrificación, molestó a Crutzen, que estalló: «Dejen de hablar del Holoceno. Ya no estamos en él». «Entonces ¿en qué período estamos, Paul?», le preguntaron. Pensó rápidamente y finalmente sentenció: «En el Antropoceno».[1]

El planeta Tierra

La Tierra tiene una larga historia. Es el tercer planeta en cercanía al Sol y el más denso de los que componen el Sistema Solar. Formado por acreción gravitacional de materia existente en la nebulosa solar, en torno a ella gira, como bien sabemos, un cuerpo de masa mucho menor: la Luna, sobre cuyo origen existen varias teorías. Desde hace alrededor de cincuenta años, casi todas las teorías sobre nuestro satélite se enmarcan en una de tres categorías. (1) Teorías de «captura»: la Luna se formó en algún lugar del Sistema Solar y habría sido capturada debido a la atracción gravitacional, por la Tierra; (2) teorías de «acreción», la Luna se fue formando gradualmente a partir de materiales que circulaban alrededor de la Tierra, y lo hizo al mismo tiempo que ésta y mediante un proceso idéntico, y (3), teorías de «fisión»: la Luna surgió de un trozo de la Tierra que se separó de ésta, una vez ya formada. Mientras que las dos primeras teorías eran, en principio, fácilmente imaginables, no sucedía lo mismo con la tercera, que fue propuesta en 1878 por George Howard Darwin (1845-1912), distinguido astrónomo y uno de los hijos del gran Charles Darwin. La idea de George, basada únicamente en argumentos teóricos, postulaba que una parte de la Tierra, cuando ésta todavía no estaba demasiado asentada, se desgajó de ella debido a la acción de las fuerzas de marea producidas por el Sol. Poco después, en 1882, Osmond Fisher (1817-1914), completó la teoría argumentando que el hueco dejado por lo que sería la Luna se convirtió en el océano Pacifico.

No hace falta ser un científico profesional para darse cuenta de que un elemento importante a la hora de decidir entre estas teorías —o para refutarlas— reside en comparar los elementos químicos que forman la Luna y la Tierra. Las misiones «Apolo» de la NASA que alunizaron y las soviéticas que utilizaron vehículos robotizados (la última tuvo lugar en 1976) trajeron a la Tierra aproximadamente doscientas muestras de rocas lunares, muchas de las cuales se han datado asignándoles la edad de unos 3.900 millones de años. La información obtenida de esta manera planteó

serios problemas a las tres teorías mencionadas, dando paso a una cuarta, la de que la Luna se formó como consecuencia del gigantesco impacto en la Tierra joven e inmadura de un protoplaneta del tamaño de Marte, bautizado con el nombre de Theia. El choque de ambos se habría producido hace 4.533 millones de años (Ma) y produjo un intercambio de materia: Theia se unió a la Tierra, mientras que una parte de ésta salió impulsada hacia el espacio donde se formó la Luna, retenida como satélite por la atracción de la Tierra. El impacto desplazó el eje de la Tierra, que formó un ángulo de 23,50 grados con la vertical original, cambio que redujo la velocidad de rotación y alargó la duración del día. Durante cientos de millones de años la Tierra y la Luna estuvieron sometidas a un incesante bombardeo de cometas y asteroides, que acabó con el impacto de cuatro asteroides gigantescos, de unos mil kilómetros de diámetro cada uno, entre 4.100 y 3.800 Ma, cuya huella es manifiesta en la Luna, que carece de atmósfera, pero como la Tierra aún no se había solidificado por completo absorbió el efecto del impacto. Había llegado el fin del primer eón de la escala geológica, el eón Hádico, del que no hay ningún registro biológico. Duró unos 560 Ma y dejó paso al eón Arcaico.

Tras el «parón» de exploración espacial centrada en la Luna, experimentado en la década de 1980 y de una actividad muy limitada en la de 1990, en el siglo XXI se ha producido una cierta reanimación de la investigación lunar, iniciada en 2007 con la sonda japonesa *Kaguya* y a la que siguieron otras como la india *Chandrayaan-1*, varias de la NASA o la China *Chang'e 3*, que el 14 de diciembre de 2013 consiguió depositar un vehículo sobre la Luna, el primer alunizaje «suave» desde 1976. Los datos obtenidos en estas misiones —salvo en el caso chino, logrados mediante análisis a distancia, utilizando sobre todo señales electromagnéticas en la franja que va de longitudes de onda radio a ultravioleta— han mostrado, por ejemplo, que la Luna no es tan seca como se pensaba, que existe en ella agua en forma de hielo. Lo que no está claro es de dónde procede esa agua: tal vez de impactos de cometas o

asteroides, o puede que se haya formado si el hidrógeno, que se encuentra en las corrientes de viento solar que azotan la Luna, se hubiese combinado con el oxígeno incluido en minerales lunares formando agua, o bien puede suceder que el agua haya estado ahí desde el principio, cuando se formó nuestro satélite.

Pero no es mi intención continuar por esta senda, que indica, por cierto, que la exploración espacial ha dejado de ser una carrera —motivada en buena medida por fines políticos, por mostrar un tipo de supremacía— entre Estados Unidos y la antigua Unión Soviética (ahora sustituida en este dominio por China). Únicamente he pretendido introducir el «escenario», la Tierra, en cuyo conocimiento se produjeron grandes novedades, una auténtica revolución de hecho, durante el siglo XX. Novedades en las que las dimensiones política y económica desempeñaron un papel esencial. Una vez conocido el resultado de esa revolución, pasaré a tratar otros temas de nuestro tiempo, comenzando por uno que, me temo, no sólo es de nuestro tiempo sino que continuará siéndolo, y con mayor dramatismo, del tiempo futuro, el del cambio climático, en que también se manifiesta la política, la economía y la sociedad. Tras él, pasaré a abordar brevemente el problema de los agujeros en la capa de ozono y también la pérdida de biodiversidad.

Estructura de la Tierra

Mucho de lo que se sabe del interior de la Tierra procede de la sismología, del estudio de las ondas producidas por los terremotos, o por explosiones provocadas intencionadamente, ondas que viajan a través del interior de la Tierra cambiando de velocidad según atraviesan las diversas capas existentes en el interior terrestre. Al recorrer distancias diferentes, las ondas en cuestión llegan en tiempos distintos a los detectores instalados en las estaciones sismológicas establecidas en todo mundo, lo que permite construir una imagen de la

estructura interior terrestre. Gracias a ello sabemos que existen varias capas en el interior de la Tierra: una *corteza* relativamente pequeña de grosor (de entre 5 kilómetros en los fondos oceánicos, y hasta 70 en las zonas montañosas más activas), formada en general por rocas ligeras. Luego viene el *manto*, que constituye el 80 % de la Tierra, compuesto de silicatos de hierro y manganeso, que se extiende hasta unos 2.900 kilómetros de profundidad (a la capa superficial el manto más la corteza se le denomina *litosfera*). Finalmente está el *núcleo*, formado sobre todo por hierro, en parte sólido y en parte líquido, y en menor cantidad por níquel.

Según aumenta la profundidad crece la temperatura; por ejemplo, durante una perforación en el Alto Palatinado alemán, en la que se penetró hasta nueve kilómetros de profundidad, se midió una temperatura de 270 oC). A ese calor interno se deben procesos como las erupciones de los volcanes, o los movimientos de la corteza terrestre.

La parte externa del núcleo es una zona líquida mezcla de hierro y níquel con una temperatura de unos 5.000 ˚C, produciéndose en ella corrientes de convección que son las responsables de la existencia de un campo magnético en torno a la Tierra (no todos los planetas del Sistema Solar poseen un campo magnético: Marte, por ejemplo, carece de él; es un planeta más pequeño que la Tierra y su núcleo se enfrió hace mucho tiempo, eliminándose así las corrientes de metales líquidos como las que producen el campo magnético en nuestro planeta).

El campo magnético de la Tierra juega un papel muy importante para su habitabilidad, controla un área espacial alrededor de la Tierra proporcionándole un escudo magnético protector, una *magnetosfera* (descubierta en 1958 gracias a medidas realizadas por el satélite «Explorer 1»), algo muy afortunado, ya que desvía radiaciones o partículas que se dirigen hacia la superficie terrestre, como las emitidas en las erupciones solares o las provenientes del denominado «viento solar», formado por electrones, protones y, en menor medida, núcleos de algunos

elementos, que escapan de la atmósfera solar. Las espectaculares auroras boreales y australes son producto de esta dinámica espacial. Pero, aunque el total de la energía emitida en una erupción solar es mucho menor que la que emite el Sol en un segundo, puede tener efectos muy perjudiciales. En la bibliografía astronómica, la erupción solar más potente que se ha registrado es la observada, con un telescopio óptico (aún estaba lejos la llegada de la radioastronomía) por el astrónomo Richard Carrington el 1 de septiembre de 1859. En nuestro mundo actual, altamente tecnificado, las consecuencias pueden ser muy importantes: podrían afectar, por ejemplo, a los satélites artificiales que orbitan alrededor de la Tierra, puesto que una parte de los rayos X emitidos en la erupción aumenta la ionización en las capas superiores de la atmósfera terrestre, produciendo interferencias en las comunicaciones de radio de onda corta, así como pérdidas de altura en satélites situados en órbitas bajas (entre ellos, los satélites que mantienen el Sistema de Posicionamiento Global, GPS).

El desplazamiento de los continentes

Aunque parezca que la superficie terrestre, los continentes en particular, están fijos, anclados en zonas determinadas y únicamente afectados por fenómenos como la erosión del viento o del agua, no es así. Se suele asignar la idea de que la geometría de los continentes terrestres ha cambiado a lo largo del tiempo al meteorólogo y geofísico alemán Alfred Wegener (1880-1930), pero esto no es correcto, sí lo es el que fue él quien defendió con más énfasis y datos esta teoría, primero en 1912 y después en un libro que publicó en 1915, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (*El origen de los continentes y océanos*).[2] La idea de que había existido un desplazamiento horizontal de continentes posee varios precursores.[3] Uno de ellos fue el geógrafo francés Antonio Snider de Pellegrini (1802-1885), quien en un ambicioso libro que publicó en París en 1858, *La Création et ses mystères dévoilés: ouvrage où l'on expose*

clairement la nature de tous les êtres, les éléments dont ils sont composés et leurs rapports avec le globe et les astres, la nature et la situation du feu du soleil, l'origine de l'Amérique et de ses habitants primitifs, la formation forcée de nouvelles planètes, l'origine des langues et les causes de la variété des physionomies, explicaba el hecho de que muchos de los fósiles de plantas que se conservaban en los yacimientos de carbón europeos eran idénticos a los que se hallaban en Norteamérica, y proponía que la geografía durante el período Carbonífero (hace entre 320 y 360 millones de años) había sido diferente a la actual, con un único gran continente; en el libro se incluían, de hecho, dos mapas mostrando la diferencia. Sin embargo, la idea pareció entonces fantástica y terminó olvidándose. Reapareció, no obstante, en 1908, de la mano del geólogo estadounidense Frank Bursley Taylor (1860-1938), cuya intención era explicar la distribución de las cordilleras; basándose en los Andes, las Montañas Rocosas, los Alpes y el Himalaya. En una comunicación que presentó en la Geological Society of America el 29 de diciembre de 1908, y también en un artículo de 1910, Taylor sostuvo que esos sistemas montañosos sólo podían haberse formado como resultado de gigantescas presiones laterales en la superficie terrestre, lo que para él significaba que los continentes se habían desplazado y que la región atlántica que separa África de Sudamérica había estado unida en el pasado, como sugiere la geometría de ambos continentes, circunstancia que había sido observada en épocas anteriores (por ejemplo, por Francis Bacon en 1620).[4] Para explicar semejantes desplazamientos, que involucraban miles de kilómetros, Taylor postulaba que la Luna se había convertido en un satélite de la Tierra durante el período Cretáceo (hace unos 145-66 millones de años) y que entonces estaba mucho más cerca de la Tierra que ahora, lo que provocaba fuerzas de marea lo suficientemente potentes como para alterar no sólo el ritmo de rotación de la Tierra sino también para alejar a los continentes de los polos acercándolos al ecuador, una teoría que había esbozado en un libro, *The*

Planetary System. A Study of Its Structure and Growth, que había publicado privadamente en 1903. Taylor era consciente de lo aventurado de su teoría pero estaba convencido de ella; así, en el obituario que preparó A. C. Lane se citaba una carta que Taylor envió a Frank Leverett, con quien estuvo muy relacionado por sus trabajos en la región de los Grandes Lagos y sobre la geología glacial y posglacial:[5] «Admito libremente que mis esfuerzos para señalar las causas de los movimientos de la corteza continental son básicamente especulativos, pero sostengo que dispongo de unas pocas evidencias muy fuertes en mi favor. Pero creo que al reunir los hechos que demuestran el carácter de los movimientos de la corteza, y sus direcciones y cantidad de movimiento en varios continentes he seguido métodos científicos muchos más apropiados y cuidadosos».

En su influyente libro, *Principles of Physical Geology*, el distinguido geólogo inglés Arthur Holmes (1890-1965), recordado especialmente por haber introducido la utilización de isótopos radiactivos en la datación de minerales (geocronología) y por sugerir que las corrientes de convección en el manto terrestre desempeñarían un papel importante si se hubiera producido en el pasado el desplazamiento de los continentes, criticó la idea de Taylor en los siguientes términos:[6]

> Aparte de la improbabilidad de que la Tierra no tuviera una luna antes del Cretáceo, existen dos objeciones fatales a esta hipótesis:
>
> a. Si la formación de montañas a finales del Cretáceo y en el Terciario se debe relacionar con la supuesta captura de la Luna, entonces es obvio que no tenemos explicación alguna para los anteriores ciclos orogénicos.
> b. Si la fuerza de marea que la nueva luna capturada ejerció sobre la Tierra hubiese sido suficiente para desplazar los continentes en la escala necesaria, entonces, como [Harold] Jeffreys ha demostrado, la fricción involucrada habría actuado como un gigantesco freno y la rotación de la Tierra habría cesado en el plazo de un año.[7]

> La «explicación» de Taylor en absoluto se puede mantener, pero de las críticas se puede extraer una conclusión muy importante. El hecho de que la Tierra continúa rotando demuestra que ni la fricción de marea ni ninguna otra fuerza aplicada desde el exterior de la Tierra puede ser responsable de la formación de montañas o del desplazamiento de los continentes, si es que éste tiene lugar. Ya hemos encontrado en el interior de la Tierra una causa para la formación de montañas, y si también se requiere una razón para el desplazamiento continental también debe buscarse dentro de la Tierra.

Pero fue gracias a Alfred Wegener que la teoría del desplazamiento de los continentes se convirtió en una idea atractiva. Wegener estudió en Heidelberg, Innsbruck y Berlín, donde se doctoró en astronomía (1905). Más tarde enseñó en Marburgo, especializándose allí en meteorología. Finalmente, en 1924, obtuvo una cátedra de Meteorología y Geofísica en la Universidad de Graz (Austria). A partir de 1910, no pudiendo reconciliar las evidencias paleoclimáticas existentes con la posición de los continentes, tal y como las percibimos en la actualidad, comenzó a desarrollar la teoría de la deriva continental. Intrépido explorador, falleció mientras cruzaba el casquete ártico de Groenlandia, en la que era su cuarta expedición polar.

En *El origen de los continentes y océanos* explicó como se le ocurrió la idea del desplazamiento de los continentes:[8]

> Tuve la primera intuición de la movilidad continental ya en 1910, cuando, al contemplar un mapamundi, me impresionó la coincidencia de las costas de ambos lados del Atlántico, pero por el momento no hice caso de esta idea, que me pareció inverosímil. En el otoño de 1911 conocí, a través de un trabajo de síntesis que cayó en mis manos por casualidad, los resultados paleontológicos, para mí desconocidos hasta entonces, referentes a las primitivas conexiones continentales entre Brasil y África. Esto me llevó a un examen atento, aunque por el momento fugaz, de los resultados de las investigaciones geológicas y paleontológicas referidas a esta cuestión, investigaciones que hicieron arraigar en mí el convencimiento

de que eran básicamente correctas. El 6 de enero de 1912 avancé por primera vez la idea en una conferencia que impartí en la Sociedad Geológica, en Frankfurt, y cuyo título era «El desarrollo de las grandes unidades de la corteza terrestre (en continentes y océanos) desde el punto de vista geofísico».

A continuación mencionaba a algunos autores que en el pasado habían presentado ideas que concordaban con las suyas, uno de ellos Frank Taylor:[9]

> También encontré grandes semejanzas con mis propias ideas en un trabajo de F. B. Taylor aparecido en 1910, donde este autor acepta para el Terciario importantes traslaciones horizontales de los continentes, que relaciona con los grandes sistemas de plegamientos de esta época. Por ejemplo, para la separación de Groenlandia y Norteamérica llega prácticamente a conclusiones idénticas a las mías. Respecto al Atlántico, supone que tan sólo parte de él se ha originado por migración del bloque americano, mientras que el resto se hundió, originando la cresta centroatlántica.

Y más adelante añadía otros detalles muy relevantes:[10]

> Los paleontólogos, así como los zoólogos y botánicos, llegan una y otra vez a la conclusión de que la mayoría de los continentes, separados hoy por anchos océanos, han debido tener en el pasado conexiones terrestres a través de las cuales se efectuó, sin impedimentos, un intercambio de la fauna y la flora terrestres. Los paleontólogos llegaron a esta conclusión al hallar numerosas especies idénticas que, según podía demostrarse, habían vivido en el pasado a ambos lados del océano, y cuya contemporaneidad hacía impensables orígenes separados en lugares diferentes [...].
>
> Al mismo resultado llegan las investigaciones similares sobre los animales y plantas actuales. Las especies actuales de dos continentes [...] son ciertamente distintas, pero los géneros y familias siguen siendo los mismos y lo que hoy es género o familia, fue especie en el pasado. Es decir, que el parentesco de fauna y flora actuales lleva a la conclusión de que estas faunas y floras fueron idénticas en el pasado y, por tanto, que debe haber existido un intercambio, lo cual sólo puede imaginarse contando con una conexión terrestre muy extensa. Sólo tras la rotura de la conexión continental se separaron las faunas y

floras en las diversas especies actuales.

Wegener sostenía que durante el Pérmico (hace más de 250 millones de años) y el Triásico (hace entre 245 y 208 millones de años) los bloques continentales que hoy conocemos estaban agrupados en un gran continente, al que denominó Pangea. Más tarde, en el Jurásico (hace entre 208 y 144 millones de años), apareció la primera fisura entre Europa y África, iniciándose un proceso que ha conducido a la geografía continental actual. Pero existían muchos problemas para que esa teoría pudiese afincarse con solidez, siendo uno fundamental el conocer el mecanismo con que se desplazan los continentes. Sería un extenso conjunto de observaciones y argumentaciones paleontológicas y biológicas, paleoclimáticas, geológicas y geodésicas, entrelazadas todas por el hilo común de su interpretación, lo que dotó de fuerza a la idea de Wegener. Ahora bien, durante casi medio siglo no fueron demasiados los que aceptaron tales puntos de vista. Existía un problema fundamental: ¿mediante qué mecanismo se desplazan los continentes? Una situación ésta que hace recordar a Galileo, que carecía de una mecánica que pudiese sostener la observación de que no sentimos que la Tierra se mueva. Wegener escribía en el antepenúltimo capítulo de su libro: «La determinación y la comprobación de las traslaciones continentales relativas se ha realizado de una forma puramente empírica, a partir de la totalidad de los datos geodésicos, geofísicos, biológicos y paleoclimáticos, pero sin haber hecho ninguna consideración sobre el origen de estos procesos. Éste es el método inductivo, método que las ciencias naturales se ven forzadas a emplear en la mayoría de los casos. Las fórmulas de las leyes de la gravedad y de las órbitas planetarias se determinaron en un principio de una forma puramente inductiva, por observación; sólo después apareció Newton y mostró cómo derivar estas leyes deductivamente a partir de la fórmula única de la gravitación universal». Y añadía: «Aún no ha aparecido el Newton de la teoría de los desplazamientos».11

El que Wegener se diese cuenta de que todavía no

había aparecido el «Newton de la teoría de los desplazamientos», no quiere decir que se abstuviese de proponer algún mecanismo que explicase, al menos *grosso modo*, los movimientos continentales. Utilizando datos diversos y teorías geofísicas argumentaba que los continentes, que consideraba formados por *sial* (*si*licio y *al*uminio, que corresponden a rocas de granito) «flotaban», cual icebergs, sobre los más densos fondos marinos y continentales (formados por *sima*, esto es, *silicio* y *magnesio*, o rocas de basalto), y que su movimiento se debía a fuerzas de marea producidas por la Luna, junto a una fuerza centrífuga debida a la rotación de la Tierra. Pero este mecanismo no convenció a los geólogos contemporáneos de Wegener, ni tampoco a los de las décadas siguientes. Es representativo cómo finalizaba Arthur Holmes su libro de 1944, *Physical Principles of Geology* después de esbozar algunos posibles mecanismos para los desplazamientos continentales:12

> Sin embargo, debe quedar claro que ideas puramente especulativas de este tipo, inventadas especialmente para ajustar los requerimientos, no pueden tener valor científico hasta que encuentren apoyo en evidencias independientes. La complejidad de detalles de los sistemas de convección, y la inagotable variedad de sus interacciones y caleidoscópicas transformaciones, son tan incalculables que pueden ser necesarias muchas generaciones de trabajo, geológico, experimental y matemático antes de que la hipótesis [del desplazamiento de los continentes] se pueda comprobar adecuadamente. Mientras tanto sería inútil contentarse con las tempranas expectativas de una teoría que englobase todo y todos los variados fenómenos de los que el comportamiento interno de la Tierra es responsable.

Otra gran revolución en la ciencia de siglo xx: la tectónica de placas

Holmes se daba perfecta cuenta de lo necesario que era disponer de más datos que pudieran validar la teoría de la movilidad de los continentes, pero no previó que tras la

Segunda Guerra Mundial, que estaba próxima a finalizar cuando apareció su libro, iban a producirse una serie de novedades que transformarían una rama de la ciencia particularmente necesaria para entender la dinámica de la corteza terrestre: la oceanografía, aunque también fueron imprescindibles avances en sismología (para comprender las interacciones entre las fronteras de placas tectónicas).

La fuerza que impulsó los estudios oceanográficos fue la Marina, en especial la de Estados Unidos, en donde se produjo la mayor parte de los desarrollos que condujeron posteriormente a la teoría de la tectónica de placas. Los motivos que llevaron a este apoyo residían en el destacado papel que habían tenido los submarinos durante la Primera Guerra Mundial, y aún más en la Segunda, y la constatación de que en el futuro, gracias a la energía y al armamento nuclear, iban a ser todavía más importantes: la relevancia política y militar de los submarinos nucleares, o de los convencionales, hicieron de los océanos un potencial frente de guerra durante la Guerra Fría. Era necesario, por consiguiente, conocer bien los fondos —su geografía así como su geología— y las corrientes marinas, pero también entender los efectos que condiciones como la salinidad, temperatura, corrientes, profundidad o incluso vida marina podían tener en la utilización del sonar. En su monumental estudio del apoyo militar a la oceanografía, Naomi Oreskes ha resumido acertadamente lo que sucedió:[13]

> Al extenderse la guerra en Europa y hacerse probable la entrada en ella de Estados Unidos, los estrategas militares americanos se dieron cuenta de que esta segunda guerra no sería como la primera. A lo largo de la historia de la humanidad, la guerra había tenido lugar en campos de batalla bidimensionales: la superficie de la tierra o del mar (o, en el caso de los submarinos, un poco por debajo de esa superficie). La guerra inminente se lucharía no sólo en esos campos de batalla sino también en el aire y por debajo de la superficie del mar. Después de la Segunda Guerra Mundial, la recientemente creada Fuerza Aérea de Estados Unidos se ocuparía de los cielos, la atmósfera superior, e incluso el espacio exterior, como escenarios de guerra; la Marina se ocuparía del mar profundo.

> Las ciencias de la tierra —en particular la oceanografía física y la geofísica marina— serían cruciales para la guerra antisubmarina, el tiempo y la predicción del oleaje, comunicaciones submarinas, navegación, rescate aire-mar, diseño de navíos, lanzamiento de misiles emplazados en submarinos, estudio de la lluvia radiactiva producida por bombas atómicas y otras actividades operacionales.

Al término de la guerra, la Oficina de Investigación Naval de la Marina estadounidense, que ya apareció en el capítulo 11, apoyó con generosidad, fundamentalmente, a tres laboratorios oceanográficos: las Instituciones Oceanográficas de Woods Hole en Massachusetts, y Scripps de San Diego (California), y el entonces recientemente creado Observatorio Geológico Lamont de la Universidad de Columbia (Nueva York).[14] Con ese apoyo financiero estos centros emprendieron una serie de expediciones, entre 1945 y 1970, en las que reunieron una cantidad enorme de datos sobre la estructura de los fondos marinos (esto es, sobre la batimetría), las propiedades químicas y físicas de las aguas oceánicas, las interacciones aire-mar, la generación de corrientes y olas y la temperatura de los océanos.[15]

Fueron importantes también los trabajos sobre fondos marinos realizados durante el Año Geofísico Internacional 1957-1958 que marcaron el punto de partida efectivo de una serie de proyectos, basados en la física, entre los cuales hay que mencionar: los estudios de paleomagnetismo (esto es, el magnetismo que queda en las rocas cuando se forman por solidificación a partir del magma) llevados a cabo por los británicos Patrick M. S. Blackett (1897-1974), premio Nobel de Física en 1948 por sus estudios sobre los rayos cósmicos, y Stanley Keit Runcorn (1922-1995), centrado concretamente en las diferentes direcciones de magnetización de las rocas antiguas, un hecho que se podía acomodar en un modelo si se suponía que los continentes se habían movido respecto a los polos magnéticos;[16] el análisis de los flujos caloríficos en las fallas y dorsales oceánicas a cargo del físico Walter Elsasser (1904-1991) y

del geofísico británico Edward Bullard (1907-1980);17 los trabajos relativos a la actividad sismológica de los fondos marinos realizados por los estadounidenses Maurice Ewing (1906-1974) y Bruce Heezen (1924-1977), que sugirieron que un sistema de cordilleras submarinas (dorsales oceánicas) se extendían de manera continua a lo largo de 64.000 kilómetros a través de todos los océanos del mundo;18 las anomalías gravitacionales detectadas por el geofísico holandés Felix Andries Vening Meinesz (1887-1966) y el norteamericano de la Universidad de Princeton, Harry H. Hess (1906-1969).19 Fue este último, Hess, quien reunió estos resultados proponiendo la hipótesis conocida posteriormente como «expansión de los fondos marinos», que presentó en un artículo publicado en un volumen dedicado por sus antiguos alumnos al geólogo estadounidense Arthur F. Buddington (1890-1980) titulado «The history of ocean basins», durante mucho tiempo la referencia más citada en geofísica.20 Su teoría fue confirmada a mediados de aquella década por los geofísicos británicos Frederich Vine (n. 1939) y Drummond Matthews (1931-1997).21 Al analizar los patrones que seguían las anomalías magnéticas que se observaban en los fondos marinos, a ambos lados de las dorsales oceánicas, y que eran simétricos con respecto a una «dorsal», relacionaron los patrones magnéticos con las variaciones del campo geomagnético terrestre, una conclusión a la que también llegó el geofísico canadiense Lawrence Morley (1920-2013), al que, sin embargo, las revistas *Nature* y *Journal of Geophysical Resarch* rechazaron su artículo (febrero, abril de 1963).22 Con estos resultados, John Tuzo Wilson (1908-1993) introdujo la idea de que la superficie terrestre está formada por varias capas rígidas pero móviles.23 Se completó así la denominada «Tectónica de Placas», según la cual no son sólo los continentes los que se mueven, sino zonas más extensas de la corteza terrestre («placas»), que incluyen partes de los océanos al igual que masas continentales.24 Las placas (seis grandes y varias más pequeñas) se mueven sobre estratos más profundos, siendo

la fuerza motriz corrientes lentas de magma viscoso (el magma es el material fundido que existe en el interior de la Tierra, del que se forman las rocas ígneas; la lava es magma que ha alcanzado la superficie y que se solidifica perdiendo algunos de sus componentes en el camino).

El océano Atlántico puede servir para ilustrar la nueva imagen: el continente americano estuvo unido en el pasado a Euro-África, pero Europa y África comenzaron a separarse durante el Mesozoico (hace 245-265 millones de años). Hasta aquí nada difiere de las ideas de Wegener, pero para éste la dorsal atlántica, la cadena montañosa situada en mitad del océano y en cuya parte central existe una profunda cuenca, o hendidura, no representaba nada especial, simplemente marcaba el lugar de separación de los continentes. Para la tectónica de placas, sin embargo, esa dorsal significa una zona dinámica, la frontera entre dos placas, por donde se crea constantemente nuevo fondo oceánico fruto del flujo de magma que surge de las profundidades de la corteza terrestre. El ritmo al que se crea ese fondo es el mismo con el que aumenta la distancia entre los tres continentes (América, Europa y África). Para Wegener el fondo marino era antiguo, mientras que en la tectónica de placas es joven, especialmente en la zona central, aumentando su antigüedad al alejarse de la dorsal atlántica, esto es, de la frontera que separa a las dos placas. Y como la Tierra no aumenta de tamaño, la masa que se va creando y añadiendo a una placa, empuja a ésta, un movimiento que además de alejar los continentes entre sí puede conducir a que dos placas choquen. Cuando esto ocurre existen, sobre todo, dos posibilidades: una, que la placa más densa pueda verse forzada a sumergirse por debajo de la menos densa, entonces la masa que se desciende se funde formando magma, que puede ascender de nuevo a la superficie a través de grietas formando volcanes; pero si las dos placas son comparables, la corteza se arruga de forma gradual, formándose cadenas montañosas, como el Himalaya, los Andes, o las Montañas Rocosas. Existe también otro proceso, en el que, a veces,

dos placas se deslizan entre sí; el caso más conocido es el de la falla de San Andrés, en California, donde el movimiento de las placas se asemeja en algunas ocasiones a un «latigazo» repentino, que provoca un terremoto.

Vemos así una de las causas de los terremotos, esos movimientos violentos de la corteza superficial de la Tierra que despliegan una gran energía. La cordillera del Himalaya, donde se encuentran las montañas más altas de la Tierra, como el Everest, surgió hace unos 50 millones de años, cuando las placas de la India y Asia, separadas hasta entonces por un océano, chocaron. Todavía hoy se da este fenómeno: entre la India y el resto de Asia se producen movimientos de placas que hacen que la región continúe elevándose y provocando tensiones y terremotos que llegan hasta el interior de China.

En lo que se refiere a los volcanes, la teoría de la tectónica de placas ofreció una interpretación mucho más adecuada que la sostenida en el pasado, que se limitaba a entenderlos como mecanismos para expulsar el calor acumulado en el interior de la Tierra. La tectónica de placas es mucho más sofisticada. Acabamos de señalar que en las zonas fronterizas entre placas, además de surgir magma de las profundidades terrestres, se produce un proceso de subducción, es decir, las rocas son empujadas al interior de la Tierra. Si se dibuja un mapa de las principales erupciones volcánicas del pasado, se comprueba que tuvieron lugar en esas zonas limítrofes entre placas, algo no sorprendente si tenemos en cuenta que son las zonas más frágiles de la corteza terrestre, aunque es cierto que también existen o han existido volcanes en lugares alejados de los bordes de las placas y que aprovechan estrechas cámaras verticales por las que asciende el magma.

Un cambio climático global

La Tierra ha experimentado varios cambios climáticos a lo largo de su historia, ya fuera debido a alteraciones en su órbita en torno al Sol, a erupciones volcánicas, al

impacto de grandes meteoritos o a modificaciones en la trayectoria de alguna de las grandes corrientes oceánicas. En 1837 el geólogo suizo, afincando posteriormente en Estados Unidos, Louis Agassiz (1807-1873) descubrió que las huellas de los glaciares que había estudiado en Chamonix, en el macizo de Les Diablerets y en las morrenas del valle del Ródano, se extendían más allá de su posición actual. El 24 de julio de aquel año, en la asamblea de la Sociedad Helvética de Historia Natural celebrada en Neuchâtel, Agassiz anunció que sus hallazgos implicaban que había existido una Edad de Hielo en el Pleistoceno (iniciada hace 2,58 millones de años, con una serie alternante de períodos glaciales e interglaciales) que había cubierto el mundo desde el Polo Norte hasta las orillas de los mares Mediterráneo y Caspio.[25] Subsiguientes investigaciones hicieron posible que se identificasen otras cuatro glaciaciones mayores, ocurridas entre 2.700 y 2.300, 850 y 635, 450 y 420, y 360 y 260 millones de años. Los cambios de temperatura implicados en esas glaciaciones tuvieron profundas consecuencias climáticas, ecológicas y bioquímicas. En el sentido opuesto, datos geoquímicos han puesto de manifiesto que se produjo un calentamiento global en la frontera entre el Paleoceno y el Eoceno (hace 55 millones de años) asociado a un rápido incremento en la concentración de dióxido de carbono, posiblemente debido a la emisión y oxidación masiva de hidratos de metano —un compuesto cuya estructura química atrapa el metano que existe dentro del hielo— de los fondos marinos, desencadenado por una erupción volcánica masiva. Más recientemente, aproximadamente hace 8.200 años el hemisferio norte sufrió un intenso enfriamiento durante dos siglos, y es bien conocida la Pequeña Edad de Hielo que tuvo lugar desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX.[26]

Si he mencionado estos ejemplos es para señalar que los cambios climáticos no son una novedad en la historia del planeta Tierra, que ha sobrevivido sin mayores problemas a ellos. Pero todas esas modificaciones del clima

terrestre fueron «naturales», no como a la que ahora se enfrenta la humanidad, producto de la actividad humana, manifestación, por consiguiente, del Antropoceno, era a la que de hecho ha dado nombre. Me estoy refiriendo a lo que se conoce como, simplemente, «Cambio Climático», o «Calentamiento global», que ya está afectando claramente a la humanidad y todo indica que lo hará con mayor intensidad a muchas generaciones futuras, cuyas vidas se verán profundamente afectadas.[27] El planeta Tierra, no, por supuesto, él puede continuar su existencia en muy diversos escenarios.

El cambio climático actual está asociado al denominado «efecto invernadero», un fenómeno relacionado con el ciclo del carbono en la Tierra, la secuencia de intercambios entre los cinco grandes depósitos de carbono: atmósfera, biosfera (región en la que residen los seres vivos), océanos, sedimentos fósiles y manto terrestre.[28] El carbono se encuentra en la atmósfera como dióxido de carbono (CO_2), las plantas, algas y bacterias consumen dióxido de carbono, que toman del aire o del agua y convierten en oxígeno y azúcares (*fotosíntesis*); los animales consumen estos azúcares y emiten dióxido de carbono en la respiración.[29] Aunque el dióxido de carbono es necesario para la vida de las plantas, cuando abunda demasiado y no puede ser absorbido por la vegetación existente la radiación térmica que emite la superficie terrestre (producto de la radiación solar) se ve absorbida por el CO_2, y es devuelta parte de ella a la atmósfera y la superficie terrestre, lo que origina un aumento de la temperatura del aire. Éste es el *efecto invernadero* que está produciendo un cambio climático en la Tierra.

En el efecto invernadero no interviene únicamente el dióxido de carbono, aunque éste sea responsable de en torno al 80 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero; también producen efectos semejantes otros gases como el metano (NH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el vapor de agua, al igual que un grupo de gases producidos en la industria (el hexafluoruro de azufre, por ejemplo,

generado en los sistemas de transmisión y distribución eléctrica). En principio, los gases de efecto invernadero no son forzosamente malos. De hecho, es necesario que tengan una cierta presencia para que exista la vida, al menos nuestra vida: sin ellos, la temperatura promedio de la superficie de la Tierra rondaría los –18 ˚C; con ellos, esa temperatura es, o debería ser, en condiciones naturales, de 15 ˚C. El problema es que debido a las actividades humanas la presencia de estos gases, en especial la del dióxido de carbono, ha aumentado de manera extraordinaria. Cuando quemamos combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) en nuestras casas, automóviles, fábricas y plantas eléctricas, o cuando producimos cemento, liberamos CO_2 a la atmósfera.

Las plantas, entre ellas los árboles, son uno de los mejores antídotos para luchar contra el efecto invernadero, puesto que absorben CO_2. Sin embargo, una de las actividades a las que los humanos se han dedicado con más intensidad desde hace siglos es la destrucción de bosques y selvas, como ocurre con la deforestación que sufre la Amazonía y extensos territorios de África. Semejante destrucción tiene además otras consecuencias: en la atmósfera que recubre los bosques se produce una mayor evaporación de agua que sobre praderas o superficies desprovistas de vegetación, con el resultado de que el aire que rodea a éstas últimas contiene menos vapor de agua que el de bosques y selvas, lo que significa menos lluvia. Asimismo, un bosque refleja entre un 12 y un 15% de la luz solar que cae sobre él, mientras que una pradera refleja el 20% y un desierto, el 40%. Ahora bien, la mayor energía solar que absorbe una zona con abundante vegetación tiende a estimular corrientes de convección y otras dinámicas en la atmósfera, conduciendo a la producción de lluvia, de modo que cuando desaparecen los bosques, se reduce la misma.

Junto a los árboles, otro gran antídoto son las algas marinas (plancton), que también utilizan dióxido de carbono, pero a medida que los océanos y mares se

calientan —el Mediterráneo, parece, a la cabeza—, el área cubierta por aguas pobres en nutrientes crece. Así, el océano se está convirtiendo en un lugar inhóspito para las algas, lo que da lugar a que disminuya el ritmo de reducción de dióxido de carbono en la atmósfera.

Ya a mediados del siglo XIX el físico británico John Tyndall (1820-1893) se dio cuenta de la importancia que para la temperatura de la atmósfera podían tener algunos gases. En 1861 determinó que, comparado con el aire seco, el vapor de agua ejercía un papel importante en la absorción del «calor radiante» y que este efecto podía explicar las diferencias entre las temperaturas al mediodía y a la caída de la tarde, o la temperatura en la cima de las montañas. Explicó, asimismo, que cambios en la cantidad de vapor de agua, dióxido de carbono o hidrocarburos, compuestos todos que absorbían el calor radiante, podrían afectar al clima. En el artículo en el que presentó sus resultados, escribió:[30] «Si, como indican los anteriores experimentos, la principal influencia la ejerce el vapor de agua, cualquier variación de este constituyente debe producir un cambio en el clima. Similares observaciones se aplicarían al ácido carbónico [H_2CO_3] que se encuentra en el aire». Hay que advertir, no obstante, que Tyndall pensaba en estas consecuencias en términos geológicos; lo que pretendía en sus trabajos era explicar por qué se habían producido en el pasado las «eras glaciales», que habían sido puestas de manifiesto por los geólogos, en las que grandes regiones de la Tierra habían estado sepultadas bajo inmensas capas de hielo. «De hecho» escribía, «tales cambios pueden haber producido todas las mutaciones de clima que las investigaciones de los geólogos han desvelado.» A pesar de que por entonces existía una abrumadora presencia en la atmósfera de productos como el gas de hulla, que se utilizaba en el alumbrado, y de los humos que emanaban de las chimeneas de las factorías que sustentaban el creciente poderío industrial del Reino Unido surgido de la Revolución Industrial, cuestiones como «efecto invernadero» no le importaban, o, mejor dicho, no

existían para él. Algo más de treinta años después, al tratar de justificar las «edades de hielo» calculando los cambios de temperatura a partir de las variaciones en la concentración de dióxido de carbono, e influido por las investigaciones geoquímicas pioneras sobre las variaciones de dióxido de carbono en la atmósfera del geólogo sueco Arvid Högbom (1857-1940), el químico-físico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) se ocupó de nuevo del efecto de la variación de la concentración de algunos de los gases que ahora denominamos de «efecto invernadero» en los cambios de temperatura en la atmósfera terrestre, aunque en lugar del dióxido de carbono consideraba el ácido carbónico (recordemos que este ácido es producto de la combinación del dióxido de carbono y el agua).[31] «Mucho se ha escrito», señalaba en un artículo publicado en 1896, «sobre la influencia de la absorción de la atmósfera sobre el clima. Tyndall, en particular, ha señalado la enorme importancia de la cuestión. Para él eran sobre todo las variaciones diurnas y anuales las que se reducían por esta circunstancia. Otro aspecto de este problema, que ha atraído desde hace mucho la atención de los físicos, es éste: ¿Se ve de alguna manera influida la temperatura del suelo por la presencia en la atmósfera de gases que absorben el calor?»[32] En un libro de carácter general, publicado en 1906 en su lengua materna (*Världarnas utveckling*, Estocolmo) y que fue traducido al inglés y al alemán en 1908 y al francés en 1910, Arrhenius presentaba sus ideas de la siguiente manera:[33]

> Fourier, el gran físico francés, ya admitía (hacia 1800) que nuestra atmósfera puede ejercer un efecto protector contra la pérdida de calor por radiación. Sus ideas fueron desarrolladas más tarde por Pouillet y Tyndall [... que] admitían que el cinturón atmosférico que posee la Tierra tiene propiedades que se acercan a las del vidrio, desde el punto de vista de la permeabilidad por el calor. Tyndall se dio perfectamente cuenta de esto. Los elementos de la atmósfera que producen esto son el vapor de agua y el ácido carbónico, pero ninguno de los dos existe en el aire más que en pequeñas cantidades. El ozono, los carburos de hidrógeno producen un efecto análogo. Sin

embargo, estos cuerpos se encuentran allí en cantidades tan pequeñas que todavía no se han tenido en cuenta en los cálculos. Pero en los últimos tiempos se han realizado experimentos minuciosos sobre la permeabilidad del calor, al ácido carbónico y al vapor de agua. Con su ayuda yo he podido calcular que si el ácido carbónico desapareciese completamente de nuestra atmósfera, en la que no ocupa más que treinta millonésimas en volumen, la temperatura del suelo disminuiría 21 grados.

El efecto de esta bajada sería que la cantidad de vapor de agua disminuiría a su vez. Se produciría en consecuencia un nuevo descenso de temperatura casi igual de grande. Vemos con este ejemplo como cambios muy pequeños en la composición del aire atmosférico pueden tener consecuencias considerables. La desaparición de la mitad del ácido carbónico existente produciría un enfriamiento de unos 4 grados; la disminución de hasta un cuarto de la proporción actual haría perder 8 grados. Si el ácido carbónico doblara su cantidad, ganaríamos 4 grados; debería aumentar cuatro veces su volumen actual para ganar 8 grados [...].

Nos podemos preguntar si variaciones caloricas de esta naturaleza han tenido lugar en la Tierra. Los geólogos nos dicen que sí.

A continuación, Arrhenius ofrecía algunos ejemplos en este sentido, como las emisiones volcánicas. Particularmente interesantes en el presente contexto son los siguientes pasajes:[34]

El ácido carbónico constituye una fracción tan poco importante de la atmósfera que incluso el consumo industrial del carbón parece que podría influir en ella. El consumo anual de hulla ha alcanzado en 1907 alrededor de 1.200 millones de toneladas y aumenta rápidamente. Esta cantidad propaga en el aire alrededor del 1/500 de su cantidad total de ácido carbónico. Aunque el océano, al absorber este gas, actúa como un agente regulador que disuelve aproximadamente cinco sextos de ese producto, es concebible que la muy débil cantidad extendida por la atmósfera pueda ser modificada, en el curso de los siglos, por la producción industrial. Se comprende así que no existe un límite fijo absoluto para este contenido atmosférico y que en realidad ha estado sometido a notables variaciones en el curso del tiempo.

Las líneas anteriores muestran que aunque Arrhenius no preveía el aumento desenfrenado que iba a experimentar la cantidad de dióxido de carbono, entendía perfectamente el papel que el ácido carbónico desempeñaba en la atmósfera terrestre y las consecuencias que representaba su presencia para la temperatura. De hecho, las posibilidades sobre las que alertaba Arrhenius tardaron en ser tomadas en consideración. La principal excepción fue el ingeniero inglés Guy Steward Callendar (1898-1964) quien publicó una serie de artículos, entre 1938 y 1961, en los que señalaba la influencia antropocéntrica en la cantidad de dióxido de carbono en la atmosfera.35 «La combustión de fuel realizado por el hombre», señalaba en el resumen de su artículo de 1938, «ha añadido al aire alrededor de 150.000 millones de toneladas de dióxido de carbono durante la mitad del pasado siglo. De los mejores datos disponibles, el autor estima que aproximadamente tres cuartos de esto han permanecido en la atmósfera. Los coeficientes de absorción de la radiación, de dióxido de carbono y de vapor de agua se utilizan para demostrar el efecto del dióxido de carbono en la "radiación del cielo". De esto se estima que el aumento de la temperatura media debida a la producción artificial de dióxido de carbono es en la actualidad del 0,003 ºC por año. Las observaciones de temperaturas realizadas en 200 estaciones meteorológicas se utilizan para demostrar que las temperaturas del mundo han aumentado de media 0,005 ºC por año durante la mitad del pasado siglo.»

En realidad, incluso Callendar pensaba que un cierto calentamiento de la atmósfera no sería malo pues podría contribuir a que las cosechas fueran más abundantes y frecuentes. Para ahondar más en el asunto, además de para que surgiese la mentalidad adecuada, era necesario disponer de instrumentos capaces de medir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, y establecer los correspondientes programas de observación. El que esto se consiguiese fue fruto no de programas específicos, sino el resultado indirecto de: (1) el desarrollo

que la meteorología experimentó después del final de la Segunda Guerra Mundial, de nuevo apadrinada por los militares —especialmente los estadounidenses— que habían comprobado la importancia de esa disciplina durante la contienda; (2) la creación de técnicas de medición asociadas al C-14, el isótopo radiactivo del carbono, necesarias para detectar posibles detonaciones nucleares, algo que en este caso favoreció iniciativas particulares para estudiar la difusión del dióxido de carbono. Una de esas iniciativas tuvo como protagonista a un químico-físico y físico nuclear especializado en C-14 nacido en Austria, pero que en 1950 emigró a Estados Unidos donde trabajó primero en la Universidad de Chicago y a partir de 1955 en la Institución Oceanográfica Scripps. Hans Suess (1909-1993). Como explicó Spencer Weart, a Suess «se le ocurrió que el carbono emitido por los seres humanos en la combustión del carbón y petróleo era realmente antiguo y había perdido su radiactividad hacía mucho tiempo. Tras recoger madera de árboles seculares, la comparó con muestras modernas. En 1955, Suess anunció haber detectado una adición de carbono antiguo a la atmósfera moderna, a partir probablemente del consumo de combustibles fósiles. Pero imaginó que aquel carbono adicional sumaba apenas un 1 % de todo el existente en la atmósfera (cifra tan baja que, según su conclusión, la mayor parte del procedente de los combustibles fósiles no tardaba en ser capturado por los océanos). Tendría que transcurrir una década hasta que Suess consiguiera realizar mediciones más precisas que demostrarían la presencia de una proporción de carbono fósil mucho más elevada».[36]

En la Institución Scripps, Suess unió fuerzas con el oceanógrafo Roger Revelle (1909-1991) para comprobar la capacidad de los océanos de absorber dióxido de carbono atmosférico. El resumen del artículo que publicaron en 1957 es ilustrativo:[37]

> A partir de una comparación de las proporciones de C14/C12 en madera y material marino y de una ligera disminución de la concentración de C14 en plantas terrestres en los últimos 50

años, se ha concluido que la vida media de una molécula de CO_2 en la atmósfera antes de que se disuelva es del orden de 10 años. Esto significa que la mayor parte del CO_2 emitido por la combustión artificial de combustible desde el comienzo de la Revolución Industrial ha debido de ser absorbida por los océanos. El aumento de CO_2 atmosférico debido a esta causa es en la actualidad pequeño pero puede llegar a ser significativo durante las próximas décadas si la combustión industrial de combustible continúa aumentando exponencialmente.

Los datos actuales sobre la cantidad total de CO_2 en la atmósfera, su proporción y mecanismos de intercambio, y sobre posibles fluctuaciones en el carbono marino orgánico y terrestre no son adecuados para medidas precisas de cambios futuros en el CO_2 atmosférico. Existe la oportunidad de obtener mucha de la información necesaria durante el Año Geofísico Internacional.

Aunque la posibilidad de un cambio climático global no constituía uno de los apartados más favorecidos en los programas del Año Geofísico Internacional 1957-1958 que mencionaban Suess y Revelle, sí acogió los análisis del aumento de la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera realizados por otro miembro de la Institución Scripps, Charles David Keeling (1928-2005). Tomando medidas en la Antártida y en Mauna Loa (Hawái) a partir de 1958 estableció con claridad que la concentración de CO_2 estaba creciendo, en lo que se conoce como «curva de Keeling».[38]

Que ese Año Geofísico Internacional llegase a celebrarse constituye una nueva manifestación de algunos de los motivos que constantemente han ido apareciendo en el presente libro, y también en este capítulo. Spencer Weart explicó bien cuáles eran:[39]

> El AGI [Año Geofísico Internacional] fue posible por la confluencia de diversos factores. Los organizadores científicos esperaban sobre todo promover el conocimiento científico y promocionar, por tanto, sus carreras personales. Los funcionarios públicos que proporcionaban el dinero, aunque no eran indiferentes a los descubrimientos científicos puros, confiaban en que los nuevos conocimientos tuvieran

aplicaciones civiles y militares. Los gobiernos norteamericano y soviético y sus aliados esperaban, además, obtener ventajas prácticas en su enfrentamiento en la Guerra Fría. Bajo el estandarte del AGI, podían acopiar datos geofísicos globales de posible valor militar. De paso, cada una de las naciones participantes abrigaba la esperanza de recabar datos de espionaje acerca de sus rivales y realzar, al mismo tiempo, su propio prestigio. Algunos científicos y altos funcionarios confiaron, en cambio, en el que el AGI contribuyera a establecer unas pautas de cooperación entre las potencias enfrentadas (como realmente ocurrió).

A pesar de que se hicieran públicos resultados como los de Suess, Revelle y Keeling, y de que surgieran entidades como la Organización Meteorológica Mundial, creada en 1951 y que no tardó en pasar a depender de la ONU, el estudio global de la atmósfera tardó en adquirir la importancia que terminó sabiéndose tiene.[40] Las razones de este hecho son diversas. Una, básica, es que no existe un termómetro que permita medir directamente la temperatura de la Tierra; ésta se calcula a partir de diversos datos históricos y geológicos, pero las deducciones implican numerosas inferencias e hipótesis. Otro problema es la dificultad de construir modelos de comportamiento del clima debido al gran número de variables que intervienen, una complicación a la que se suma el que la ciencia atmosférica se enmarca en los fenómenos no lineales y caóticos.[41] Y otro obstáculo es que para obtener resultados plenamente convincentes es necesario reunir a especialistas de diversas disciplinas: el estudio del cambio climático es netamente interdisciplinar. Por todo esto se tardó en conseguir un acuerdo generalizado en la comunidad científica. Pero aun cuando estas dificultades se fueron superando, quedaban, y continúan quedando, otras de índole socioeconómica y por consiguiente también política, como es la dependencia mundial de combustibles fósiles, emisores de dióxido de carbono. Al igual que ha sucedido en otros casos, como las acciones que las grandes tabacaleras han empleado —contando con frecuencia con la colaboración de científicos— para negar los informes

médicos que alertan sobre los efectos negativos para la salud del consumo de tabaco, en el cambio climático también han tenido presencia —a la cabeza las compañías petrolíferas— los que, acertadamente, Naomi Oreskes y Erik Conway han etiquetado como «mercaderes de la duda».[42] No es éste, sin embargo, el lugar para seguir con detalle la historia de cómo se ha desarrollado la conciencia de que el cambio climático realmente está en marcha. Me limitaré a unos pocos apuntes.

Un momento importante en esa toma de conciencia fue cuando en 1988 se creó, como una iniciativa conjunta de dos agencias de la ONU, la Organización Meteorológica Mundial y el Programa Medioambiental de Naciones Unidas, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) «para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta».[43] En 1990 emitió un primer informe en el que participaron 170 científicos de 25 países, estando además involucrados en su revisión 200 científicos más. El segundo informe se publicó en 1995, el tercero en 2001, el cuarto en 2007, el quinto en 2014, el sexto en 2020 y el último en agosto de 2021. Las conclusiones no dejan duda de que las actividades humanas están afectando al clima global; en el informe de 2021 se señala, además, que aunque se consiguiera reducir a cero las emisiones de los gases de efecto invernadero, algunos efectos del calentamiento global son ya irreversibles, entre ellos la subida del nivel de mares y océanos, que continuará ascendiendo hasta más allá del 2100.

Han sido importantes —y continúan siéndolo—, aunque también frustrantes, las reuniones intergubernamentales que han tenido lugar, comenzando por la «Cumbre de la Tierra» celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992, bajo los auspicios de la ONU. La celebración de esta cumbre sobre el medioambiente y el desarrollo parecía indicar que el mundo tomaba en serio los

problemas medioambientales, pero los objetivos que se acordaron allí no se cumplieron; y menos éxito tuvieron aún sus secuelas —destinadas a evaluar y seguir los acuerdos tomados en 1992—, Río + 10, celebrada en 2002 en Johannesburgo, y Río + 20 que tuvo lugar en 2012, de nuevo en Río de Janeiro. A finales de 1997 se celebró en Kioto la famosa Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que condujo a un acuerdo internacional para la reducción de las emisiones de seis gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre).[44] El Protocolo de Kioto se firmó el 11 de diciembre de 1997, pero debido al complejo proceso de ratificación sólo entró en vigor el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009 lo habían firmado 187 estados. De nuevo sería largo seguir las vicisitudes del Tratado de Kioto, incluyendo el incumplimiento de sus previsiones, que se han prolongado hasta la actualidad; mencionaré no obstante la postura de Estados Unidos, un gran emisor de estos gases (no el único). Fue el 12 de noviembre de 1998, durante el mandato de Bill Clinton, cuando Estados Unidos firmó el Protocolo. Sin embargo, en 2001, durante el primer año de su presidencia, el gobierno de George W. Bush se retiró del Protocolo de Kioto alegando que era imperfecto y dañino para la economía estadounidense.

El sucesor de Bush hijo en la presidencia, Barack Obama, reincorporó Estados Unidos al Protocolo. En su autobiografía, Obama comentó sus ideas sobre el problema del calentamiento global y las dificultades asociadas a la lucha contra él:[45]

> Pero la realidad cada vez más ominosa del cambio climático me obligó a cambiar de perspectiva.
>
> Parecía que el pronóstico empeoraba cada año, a medida que una nube de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero —procedentes de las centrales eléctricas, las fábricas de coches, los camiones, los aviones, las granjas de ganadería intensiva, la deforestación y todos los demás

elementos característicos del crecimiento y la modernización—no dejaba de crecer y contribuía a las temperaturas récord. Para cuando presenté mi candidatura a la presidencia, el evidente consenso entre los científicos era que, salvo que se adoptasen medidas contundentes y coordinadas a escala internacional para reducir las emisiones, la temperatura global estaba abocada a aumentar dos grados Celsius en unas pocas décadas. Una vez superado ese punto, el planeta podría experimentar una aceleración del deshielo de los casquetes polares, de la subida del nivel de las aguas y de los eventos meteorológicos extremos de la que no habría vuelta atrás [...].

Decidí que, si aspiraba a liderar el mundo libre, debía hacer del cambio climático una prioridad de mi campaña presidencial [...].

Hubo una época en que el papel del gobierno federal en la protección del medioambiente gozó del apoyo de ambos partidos. Nixon trabajó con un Congreso demócrata para crear en 1970 la Agencia de Protección Ambiental (EPA). George H. W. Bush abanderó en 1990 un reforzamiento de la Ley de Aire Limpio. Pero esos tiempos eran cosa del pasado. A medida que la base electoral del Partido Republicano se había desplazado hacia el sur y hacia el oeste, donde los esfuerzos conservacionistas del gobierno federal desde hacía tiempo levantaban ampollas entre las compañías petroleras, las empresas mineras, los promotores inmobiliarios y los rancheros, los republicanos habían convertido la protección medioambiental en un frente más de la guerra cultural entre los partidos. Los medios de comunicación conservadores presentaban el cambio climático como un bulo dañino para el empleo y difundido por ecologistas extremistas. Las grandes petroleras destinaban millones de dólares a una red de centros de estudios y empresas de relaciones públicas que se dedicaban a embrollar los datos en torno al cambio climático. George W. Bush y miembros de su Administración minimizaban activamente las pruebas de que el planeta se estaba calentando y se negaron a participar en los intentos internacionales de limitar la emisión de gases de efecto invernadero, a pesar de que, durante la primera mitad de su presidencia, Estados Unidos ocupó el primer lugar en la clasificación de los países emisores de dióxido de carbono. En cuanto a los republicanos del Congreso, entre los activistas del partido despertaba sospechas el mero hecho de reconocer que el cambio climático debido a la acción humana era real; proponer modificaciones en las políticas para lidiar con él podía llevar a que surgiese un

rival en las primarias del partido [...].

Me posicioné desde el principio a favor de un ambicioso sistema de «topes e intercambios» para reducir los gases de efecto invernadero, aunque evité entrar en detalles que pudiesen proporcionar a mis futuros rivales un suculento objetivo que atacar. En los discursos, minimicé el conflicto entre las actuaciones contra el cambio climático y el crecimiento económico, e insistí en señalar los beneficios no medioambientales de mejorar la eficiencia energética, entre ellos la posibilidad de, en última instancia, reducir nuestra dependencia respecto al petróleo extranjero. Y, en un guiño al centro político, prometí una política energética que tocase todos los palos, lo que permitiría que prosiguiese la producción doméstica de petróleo y gas mientras el país hacía la transición a las energías limpias, así como que se destinasen fondos al etanol, las tecnologías de carbón limpio y la energía nuclear, todas ellas posturas impopulares entre los ecologistas pero de gran relevancia para los votantes de los estados bisagra.

Mi discurso optimista sobre la transición indolora a un futuro sin carbón provocó las quejas de algunos activistas contra el cambio climático. Esperaban de mí que hiciese un llamamiento a un mayor sacrificio y a la toma de decisiones más difíciles —incluida una moratoria sobre la perforación para extraer petróleo y gas, o incluso su prohibición— para hacer frente a una amenaza existencial. En un mundo perfectamente racional, eso habría tenido sentido. En el mundo real y muy irracional de la política estadounidense, mi equipo y yo estábamos bastante seguros de que presentar escenarios apocalípticos era una mala estrategia electoral.

Obama consiguió que Estados Unidos se sumara al Acuerdo de París del 12 de diciembre de 2015, que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016 y al que se unieron 196 países (su objetivo era limitar el aumento de temperatura a menos de 2 ºC), pero su sucesor en la presidencia, Donald Trump, no participaba de las ideas de Obama y en junio de 2017 anunció que Estados Unidos se retiraría del Pacto de París, una decisión que el actual presidente, Joe Biden, parece que revocará.

Como vemos, la principal dificultad en la lucha para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se halla en la economía, dificultad asociada no únicamente a intereses de empresas particulares sino también a lo complicado que es cambiar de manera profunda y con cierta celeridad las bases en las que se sustentan las vidas y trabajos de la gran parte de la ciudadanía mundial, heredera de usos y técnicas surgidas a partir de la Revolución Industrial. Un intento de mostrar que existe también una posible economía de desarrollo en la lucha contra el cambio climático fue el denominado *Informe Stern* —por su principal responsable, el economista británico Nicholas Stern (n. 1946)— sobre la economía del cambio climático, difundido a finales de 2006 y que había sido encargado por el ministro de Hacienda (*chancellor of the Exchequer*) británico, Gordon Brown, en julio de 2005 para que él y el primer ministro, Tony Blair dispusieran de información en el otoño de 2006.[46] Concretamente, lo que se pidió a Stern fue que informase sobre:[47]

> La economía de pasar a una economía global de bajo carbono, centrándose en las perspectivas a medio y largo plazo, extrayendo conclusiones sobre las escalas de tiempo para actuar, y la elección de políticas e instituciones.
>
> El potencial de diferentes aproximaciones para adaptarse a cambios en el clima.
>
> Lecciones específicas para el Reino Unido, en el contexto de sus metas actuales para el cambio climático.

Los encabezamientos del informe, que dan idea de su contenido, fueron los siguientes:

> Todavía existe tiempo para evitar los peores impactos del cambio climático, si actuamos ahora con decisión.
>
> El cambio climático podría tener impactos muy serios sobre el crecimiento y el desarrollo.
>
> Los costes de estabilizar el clima son significativos pero manejables; el retraso sería peligroso y mucho más costoso.
>
> La acción sobre el cambio climático debe realizarse a través de todos los países, y no debe afectar a las aspiraciones para el crecimiento de los países ricos o pobres.

Existen diversas opciones para cortar las emisiones; se necesita una política fuerte, deliberada, para motivar que se adopten.

El cambio climático exige una respuesta internacional, basada en la comprensión compartida de metas a largo plazo y en el acuerdo sobre los esquemas de acción.

Visto retrospectivamente, las conclusiones del *Informe Stern* no resultan sorprendentes; daba un cierto substrato económico a lo que miles de científicos habían estado proclamando durante décadas. Fue muy publicitado y comentado, pero no cambió apenas la realidad de la situación sujeta a los vaivenes e intereses políticos, económicos e industriales. Si hay ejemplos paradigmáticos de que «el poder de la ciencia» es muy relativo comparado con el político —aliado (o dependiendo) éste con frecuencia con el económico-industrial—, uno de ellos es el de la respuesta al cambio climático.

¿Crecimiento sostenido y crecimiento sostenible?

El *Informe Stern* no cuestionaba uno de los pilares en los que se basaba la economía mundial durante el siglo xx: la necesidad de que ésta continuase creciendo. Primero se sostuvo que tal crecimiento debía ser «sostenido», esto es, constante, aunque no existiera un acuerdo generalizado sobre los porcentajes de ese crecimiento, pero luego, en vista del deterioro del medioambiente o de crisis como la del petróleo de 1973, se pasó a hablar de «crecimiento sostenible». No pretendo extenderme aquí sobre si este concepto oculta, como muchos han señalado, especialmente ecologistas, una profunda contradicción: ¿es posible mantener que un sistema de recursos finitos como es la Tierra crezca siempre? En el mejor de los casos, en este tipo de política económica subyace el propósito de intentar hacer compatible el crecimiento económico con el mantenimiento del nivel de vida de las sociedades más desarrolladas y la mejora de la condición de las

subdesarrolladas, haciendo todo sin deteriorar el medioambiente, lo que supuestamente se podría hacer utilizando recursos (energías) renovables. Más falaz es aún la idea de que la economía no sufra crisis. Ya en su libro de 1936, *The General Theory of Employment, Interest and Money* (*Teoría general del empleo, el interés y el dinero*), John Maynard Keynes argumentó que la incertidumbre era la norma en lugar de la excepción en las economías capitalistas, algo que, por ejemplo, la crisis que desencadenó la quiebra de Lehman Brothers en septiembre de 2008 mostró con crudeza.

En 1972, el Club de Roma, una organización internacional no gubernamental fundada en la capital italiana en 1968 por el industrial Aurelio Peccei e integrada por hombres de negocios, científicos y políticos hizo público un informe que había encargado al Grupo de Dinámica de Sistemas de la Sloan School of Management del Massachusetts Institute of Technology, realizado con la financiación de la Fundación Volkswagen de Alemania. Destinado a «definir los límites y los obstáculos físicos del planeta a la multiplicación de la Humanidad y de la actividad humana», el informe, que encabezaba la biofísica Donella H. Meadows (1941-2001), se tituló *The Limits of Growth* (*Los límites del crecimiento*) y se centró en el análisis, utilizando un modelo informático denominado World 3, de las interacciones entre cinco elementos: el crecimiento de la población (el Club tenía una inclinación claramente neomalthusiana), la producción de alimentos, la industrialización, el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación. Las conclusiones del informe eran pesimistas, si no desoladoras... si se continuaba con los modos de consumo que se practicaban. Unas cuantas frases dan idea del talante del informe: «Dadas las actuales tasas de consumo de los recursos y el aumento proyectado de estas tasas, la gran mayoría de los recursos no renovables hoy importantes tendrán costos extremadamente elevados dentro de 100 años»; «El modo básico de comportamiento del sistema mundial consiste en un crecimiento exponencial

de la población y del capital, seguido de un colapso»; «Estamos unánimamente convencidos de que la rectificación rápida y radical de la situación mundial hoy desequilibrada, y que se deteriora peligrosamente es la primera tarea que afronta la humanidad [...]. Se requieren enfoques enteramente nuevos para reorientar a la sociedad hacia objetivos más de equilibrio que de crecimiento. Esta reorganización implicará un esfuerzo supremo de comprensión, imaginación y resolución política y moral [...]. Este esfuerzo supremo es un desafío a nuestra generación y no podemos hacer que lo herede la que nos sigue».48

En su momento —y también posteriormente— el informe fue muy criticado, con el argumento de que los datos que utilizaba eran de dudosa calidad y que se hacían demasiadas hipótesis sobre las relaciones existentes entre los elementos que intervenían en sus modelos. Cercano al espíritu —pero no a las tácticas y modelos que utilizaba— que animaba a *The Limits of Growth* estuvo un libro publicado el año siguiente (1973), *Small is Beautiful: A Study of Economics As if People Matthered*, del economista británico (pero nacido en Alemania), Ernst Friedrich Schumacher (1911-1977), que en 1995 la revista *The Times Literary Supplement* incluyó dentro de los «100 libros más influyentes publicados desde la Segunda Guerra Mundial». Protegido inicialmente por John Maynard Keynes, que reconoció su talento, Schumacher formó parte del equipo dirigido por el influyente economista John Kenneth Galbraith para analizar los bombardeos estadounidenses en Alemania; posteriormente fue estadístico jefe de la Comisión de Control Británica para la reconstrucción económica de Alemania, y el principal asesor económico de la Junta Nacional del Carbón del Reino Unido. Pero, como apunté, la polémica estaba servida. En 1974 otro notable economista, educado en Oxford y Cambridge que ocupó la cátedra de Economía Política del University College de Londres, Wilfred Beckerman (1925- 2020), publicó un libro, *In Defense of Economic Growth* (*En defensa del crecimiento*

económico), en el que se esforzaba en defender lo que señalaba el título: el crecimiento económico. Beckerman reconocía los problemas medioambientales: «Por lo menos desde hace treinta años» escribió en otro de sus libros, *Small is Stupid: Blowing the Whistle on the Greens* (1996) «se sabe claramente que el mundo afronta problemas ambientales graves. En los países avanzados se incluyen en este concepto la contaminación de playas y ríos y la eliminación de montañas de basura corriente producida en las sociedades opulentas, por no mencionar la eliminación de residuos radiactivos». Y en este punto mencionaba el libro de Schumacher:[49] «Libros pioneros como el de Ed Mishan, *The Cost of Economic Growth* o el de Schumacher *Small is Beautiful* pusieron al alcance de un amplio público la importancia de la relación entre crecimiento y consumo».[50] Pero sus planteamientos eran muy diferentes:[51]

> Estos problemas diversos (las imperfecciones del mercado en los países avanzados, la pobreza en los países en desarrollo y el conflicto entre intereses nacionales e internacionales en cuestiones ambientales) son suficientemente dificultosos. No debería dejar de prestarles atención la sociedad por prestarla a argumentos falsos sobre diversos desastres. Está bien que nos preocupemos por el tipo de mundo que legaremos a nuestros descendientes. Pero, al mismo tiempo, no debemos dejarnos arrastrar por las predicciones del movimiento ambientalista de que estamos al borde de una catástrofe ambiental y de que hay que empujar a los gobiernos a adoptar medidas más drásticas que las que aparentemente toman. Porque el alarmismo que es casi histeria no es ninguna guía para una política equilibrada.
>
> Por supuesto que hay que conceder cierto crédito al movimiento medioambiental por haber conseguido que el público y muchos gobiernos se hayan tomado en serio los auténticos problemas medioambientales que afrontamos. Pero parte de ese crédito debería atribuirse al crecimiento económico. Porque el aumento de las rentas conduce a un cambio de prioridades en la gente que pasa de la satisfacción de las necesidades básicas a la preocupación por su entorno y a una mayor disposición a dedicar recursos a la protección ambiental. Sin embargo, los gobiernos no adoptarán medidas

> voluntarias para remediar ningún problema medioambiental como no se les presione constantemente por medio de la opinión pública. Y esa opinión ha de canalizarse mediante grupos organizados, entre los que las organizaciones ambientalistas tienen un valioso papel. Pero deben hacerlo de manera responsable.

El problema es ¿qué quiere decir para el economista, defensor de crecimiento económico, Wilfred Beckerman, «de manera responsable»?[52]

Regresando al Club de Roma, tenemos que publicó posteriormente otros tres informes. El primero apareció en 1975. Se tituló *Mankind at the Turning Point* y era menos pesimista que el anterior, ofreciendo diferentes escenarios que según sus autores podían evitar potenciales catástrofes.[53]

El segundo, *Beyond the Limits*, se publicó en 1991. Merece la pena reproducir sus pasajes finales:[54]

> ¿Son realmente posibles cualesquiera de los cambios por los que hemos abogado en este libro, desde una mayor eficiencia en lo recursos hasta una mayor compasión humana? ¿Puede en realidad el mundo acompasarse por debajo de los límites para evitar el colapso? ¿Hay acaso suficiente tiempo? ¿Hay suficiente dinero, tecnología, libertad, visión, comunidad, responsabilidad, previsión, disciplina y amor a escala global?
>
> [...].
>
> Hemos dicho muchas veces en este libro que el mundo no hace frente a un futuro preformado, sino a una elección. La elección entre modelos. Un modelo afirma que este mundo finito carece de límites a efectos prácticos. Elegir dicho modelo nos llevará todavía más allá de los límites, y, creemos, al colapso.
>
> Otro modelo dice que los límites son reales y están próximos, que no hay suficiente tiempo, y que la gente no puede ser moderada, responsable o compasiva. Ese modelo es autosuficiente. Si el mundo decide creerlo, el mundo estará en lo cierto, y el resultado será también el colapso.
>
> Hay un tercer modelo según el cual los límites son reales y están próximos, y hay el tiempo justo, sin tiempo que perder. Hay la cantidad de energía, materiales, dinero, resistencia del medio ambiente y virtud humana para lograr una revolución en

pro de un mundo mejor.

Este modelo puede que esté equivocado. Toda la evidencia que hemos visto, desde los datos mundiales hasta los modelos globales de ordenador, sugiere que puede ser correcto. No hay otra forma de saberlo con seguridad que probarlo.

Cuando se iban a cumplir treinta años de la publicación de su primer informe, el Club de Roma decidió recapitular, produciendo finalmente lo que tituló *Limits of Growth: The 30-Year Update*. En una de las secciones del libro se planteaban «¿Tuvimos razón hace treinta años?»:[55]

A menudo nos preguntan si las predicciones de *Los límites del crecimiento* fueron acertadas. Conviene señalar que éste es el lenguaje de los medios de comunicación, no el nuestro. Nosotros seguimos concibiendo nuestra investigación como un esfuerzo por dilucidar diferentes futuros posibles. No intentamos predecir el futuro, sino que esbozamos proyecciones alternativas para la humanidad a medida que ésta avanza hacia 2100. No obstante, es útil reflexionar sobre las lecciones de los treinta años transcurridos. Así pues, ¿qué ha ocurrido desde que se publicó *LTG* [*The Limits of Growth*] en un delgado tomo editado en rústica por una pequeña editorial de Washington en marzo de 1972?

Se alzaron las voces de un gran número de economistas, quienes junto a industriales, políticos y defensores del Tercer Mundo, mostraron su indignación ante la idea de poner límites al crecimiento. Pero al final los hechos han demostrado que el concepto de limitación ecológica planetaria no es absurdo. Sin duda el crecimiento físico está limitado, y eso ejerce una enorme influencia en el resultado de las políticas que elegimos para tratar de alcanzar nuestros objetivos. Y la historia enseña que la sociedad tiene una capacidad limitada para responder a aquella limitación con medidas sabias, clarividentes y altruistas que supongan una desventaja para gente importante a corto plazo.

Las limitaciones de recursos y emisiones han originado muchas crisis desde 1972, movilizando a los medios de comunicación, atrayendo la atención del público y despertando a los políticos de su letargo. El descenso de la producción de petróleo en países importantes, la reducción del ozono estratosférico, el aumento de la temperatura del planeta, la extendida persistencia del hambre, el debate cada vez más

acalorado sobre la ubicación de vertederos para residuos tóxicos, el descenso del nivel de las aguas subterráneas, la desaparición de especies y la mengua de los bosques son tan sólo algunos de los problemas que han dado pie a amplios estudios, reuniones internacionales y acuerdos mundiales. Todos ellos ilustran nuestra conclusión fundamental y son coherentes con ella: las limitaciones del crecimiento físico son un aspecto importante de la política mundial en el siglo XXI.

Para quienes aprecian los números podemos informar de que las proyecciones altamente agregadas de World3 siguen siendo, al cabo de treinta años, bastante acertadas.[56] En el año 2000, el mundo tenía exactamente el número de habitantes (unos 6.000 millones, frente a los 3.900 que había en 1972) que nosotros proyectamos en la simulación normal de World3. Es más, esta proyección mostraba un crecimiento de la producción mundial de alimentos (de 1.800 millones de toneladas equivalentes de cereal al año en 1972 a 3.000 millones en 2000) que se ajusta bastante a la realidad histórica. ¿Demuestra esta coincidencia con la realidad histórica que nuestro modelo estaba en lo cierto? No, por supuesto que no. Pero indica que World3 no era del todo absurdo: en la actualidad, sus supuestos y nuestras conclusiones siguen estando justificados.

Contemplado desde la perspectiva de que pronto hará medio siglo, se puede decir que, efectivamente, las advertencias y recomendaciones del primer informe eran razonables y daban una buena idea de cuál era la situación entonces y cuál podía ser a medio y, sobre todo, a largo plazo. Es cierto, sin embargo, que algunas de sus previsiones no se han hecho realidad, debido a la aparición —en ocasiones antes incluso de la publicación del Informe de 1972— de nuevas tecnologías que han facilitado cambios importantes en el consumo, entre ellas las que han hecho posible que se haya incrementado la posibilidad de alimentar a una población mundial que, como el propio informe preveía, ha continuado aumentando.[57] La aplicación de conocimientos más avanzados de genética y de la nutrición y fisiología de las plantas, junto al perfeccionamiento y la adecuación de las prácticas agronómicas condujeron a aumentos importantes de los rendimientos agrícolas. «El impacto de las nuevas

variedades en la producción de alimentos en la mayoría de los países en vías de desarrollo ha sido enorme», señalaba el catedrático de Bioquímica y Biología Molecular, Francisco García Olmedo. «Desde 1965 a 1969, la superficie plantada con las nuevas variedades de trigo y arroz pasó en estos países de menos de 100 hectáreas a casi 15 millones de hectáreas [...]. Entre 1966 y 1981, la India triplicó su producción anual de trigo de 11 a 36,5 millones de toneladas. De forma paralela, Pakistán, que era en 1967 el segundo recipiendario mundial de ayuda alimentaria externa, se convirtió dos años más tarde en exportador de arroz. Finalmente, en China, entre 1963 y 1983, el rendimiento medio del arroz pasó de 2 a 4,7 toneladas por hectárea, y el de trigo de 1 a 2,5 toneladas por hectárea.»[58]

Las mejoras que se mencionaban en la anterior cita se referían a la que se ha denominado a veces «Segunda Revolución Verde». Pero posteriormente llegó una «Tercera Revolución Verde», basada en la utilización de las técnicas de ingeniería genética en las plantas que, aunque suscitó y suscita oposiciones —no siempre por cómo se entiende el concepto de «natural», sino también por las tácticas monopolistas de empresas que comercializan semillas, como es Monsanto—, abre posibilidades antes insospechadas, como pueden ser la resistencia a plagas y enfermedades, así como a factores adversos del suelo y del clima.[59]

Tampoco están en trance de desaparecer, *todavía*, recursos como el petróleo, cuyo fin entonces se preveía cercano pero cuya producción, al igual que la de gas, ha aumentado en parte debido a la introducción de la problemática fracturación hidráulica, también conocida como *fracking*, cuyo principal pionero fue el empresario estadounidense George P. Mitchell (1919-2013).

Pérdida de biodiversidad

Una consecuencia visible del calentamiento que está experimentando la Tierra y de muchas actividades humanas

es la pérdida de biodiversidad. En 1979 el ecologista británico Norman Myers (1934-2019) publicó un libro, *The Sinking Ark* (*El arca que naaufraga*) en el que alertaba que estaba en marcha una estremecedora desaparición de especies. Myers estimaba que al final del siglo XX se habrían perdido medio millón de especies, esto es, unas 40.000 por año, una cifra cuestionable, y por la que fue muy criticado. La realidad es que no se sabe cuantificar bien esta pérdida, aunque son cada vez más quienes hablan de que se está produciendo una «sexta extinción», tras las cinco anteriores, que se conocen gracias a los datos paleontológicos y geológicos: las que tuvieron lugar hace 440, 365, 250, 210 y 65 millones de años.60 Pero lo importante es que Myers identificó claramente un problema y propuso posibles tácticas para luchar contra semejante catástrofe. Un artículo que publicó en 2000 junto a R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. da Fonseca y J. Kent («Biodiversiy hotspots for conservation priorities», *Nature 403*, 853-858) figura entre los artículos más citados de la ecología y la ciencia de la conservación. La gran novedad de este artículo es que incorpora la biogeografía, haciendo hincapié en que es preciso tener en cuenta la distribución geográfica de las especies animales y vegetales y dónde estan más amenazadas para establecer las políticas más adecuadas teniendo en cuenta los recursos disponibles. En el resumen que abre este artículo se explicaba su contenido:

> Los conservacionistas están lejos de poder ayudar a todas las especies amenazadas, aunque sólo sea por falta de fondos. Esto da especial importancia a las prioridades: ¿cómo podemos mantener la mayor cantidad de especies al menor costo? Una forma es identificar «puntos críticos de biodiversidad» en los que concentraciones excepcionales de especies endémicas estén sufriendo terribles pérdidas de hábitat. Hasta el 44 % de todas las especies de plantas vasculares y el 35 % de todas las especies de cuatro grupos de vertebrados están confinadas en 25 puntos críticos que comprenden sólo el 1,4 % de la superficie terrestre. Esto abre el camino para una estrategia de bala de plata por parte de quienes planifican la conservación, centrada en estos puntos críticos en proporción a su

participación en las especies del mundo en riesgo.

Los esfuerzos de Myers han estado acompañados por los de otros biólogos. Uno que merece ser recordado especialmente es el entomólogo de Harvard, Edward O. Wilson (1929-2021), que además de su distinción científica es un hábil y activo autor de libros de carácter general (obtuvo dos premios Pulitzer, el primero en 1979 por su libro *On Human Nature* y el segundo en 1991 por el que escribió junto a Bert Holldobler, *The Ants*). El mismo término de «biodiversidad» (abreviación de «diversidad biológica») se introdujo en una reunión celebrada entre el 21 y el 24 de septiembre de 1986 en Washington D. C., en la que Wilson participó y a la que asistieron alrededor de 60 prominentes biólogos, economistas, expertos en agricultura, filósofos y otros profesionales, y cuyas actas editó junto a Frances Peter. Fue organizada por el National Forum on Bioversity (Foro Nacional sobre Biodiversidad) bajo los auspicios de la Academia Nacional de Ciencias y la Institución Smithsonian. De esta reunión resultó un libro que se tituló *Biodiversity* y que pronto se convirtió en un éxito dentro de la comunidad científica, teniendo además gran repercusión mediática y social. En el «Prólogo» que encabeza el volumen, Wilson escribió:[61]

> La diversidad de las formas de vida, tan numerosas que todavía tenemos que identificar la mayor parte de ellas, es la mayor maravilla de este planeta. La biosfera es un intrincado tapiz de formas de vida interrelacionadas. Incluso la aparentemente desolada tundra ártica se mantiene por una compleja interacción de muchas especies de plantas y animales, incluyendo la rica variedad de líquenes simbióticos. Este libro ofrece una panorámica general de esta diversidad biológica y transmite la urgente advertencia de que estamos alterando y destruyendo rápidamente el medioambiente que ha albergado las diversas formas de vida desde hace más de mil millones de años [...].
>
> El foro coincidió con un aumento manifiesto del interés, por científicos y parte del público, en los temas relacionados con la biodiversidad y los problemas internacionales de conservación. Creo que este aumento de atención, que era evidente hacia

> 1980 y que había ido adquiriendo impulso de manera continua hasta llegar al foro, se puede adscribir a dos acontecimientos más o menos independientes. El primero era la acumulación de datos suficientes sobre deforestación, extinción de especies y biología tropical, que han enfocado de manera más nítida los problemas globales, garantizando así una atención pública más amplia. No es coincidencia que 1986 fuera también el año en que se fundó la Society for Conservation Biology [Sociedad para la Conservación de la Biología]. El segundo fue la creciente toma de conciencia de la estrecha relación entre la conservación de la biodiversidad y el desarrollo económico. En Estados Unidos y otros países industriales los dos factores se consideran a menudo como opuestos, con los conservacionistas y los desarrollistas esforzándose en encontrar un compromiso de suma cero. Pero en las naciones en desarrollo sucede lo contrario. La destrucción del medioambiente natural va acompañada habitualmente de beneficios a corto plazo y después a un rápido declive económico. Además, la inmensa riqueza de la biodiversidad tropical es un depósito sin apenas explotar de nuevos alimentos, productos farmacéuticos, fibras, sustitutos del petróleo y otros productos.

Y tras su prólogo, Wilson contribuyó con el primer capítulo: «The current state of biological diversity».[62]

Junto a su distinción científica y su compromiso con la defensa de la biodiversidad, en Edward Wilson se ha dado una gran habilidad narrativa, de la que dan idea, por ejemplo, los siguientes pasajes de uno de sus libros, significativamente titulado *The Diversity of Life* (*La diversidad de la vida*), en uno de cuyos capítulos («La biodiversidad, amenazada») escribe[63]

> Escondido entre las estribaciones occidentales de los Andes de Ecuador, a unos pocos kilómetros de Río Palenque, hay un pequeño monte llamado Centinela. Su nombre merece ser sinónimo de la hemorragia silenciosa de la diversidad biológica. Cuando el bosque del monte fue talado hace una década, se extinguió un elevado número de especies raras. Desaparecieron exactamente así, desde poblaciones completamente sanas hasta la nada, en unos pocos meses. En todo el mundo tienen lugar estas extinciones anónimas (llamémoslas «extinciones centinelas»), no heridas abiertas que todos pueden ver y

apresurarse a restañar; sino acontecimientos internos que no se advierten, pérdidas de tejido vital que no se ven. Sólo un accidente de oportunidad produjo un relato de testigos presenciales de los acontecimientos de Centinela [...].

La revelación de Centinela y de una lista creciente de otros lugares parecidos es que la extinción de las especies ha sido mucho peor de lo que incluso los biólogos de campo, yo entre ellos, habíamos supuesto previamente. Un cierto número de especies raras está desapareciendo justamente más allá del límite de nuestra atención. Entran en el olvido del mismo modo que los muertos de la *Elegy* [*Written in a Country Churchyard*; 1750] de [Thomas] Gray, dejando todo lo más un nombre, un eco que se apaga en un rincón lejano del mundo, sin que su genio haya sido usado.

Más adelante Wilson reconocía las incertidumbres en la cuantificación de la pérdida de biodiversidad biológica:[64]

¿Llegará a ser posible establecer la pérdida actual de diversidad biológica? No puedo pensar en otro problema científico que tenga una mayor importancia inmediata para la humanidad. Los biólogos encuentran dificultades para llegar a una estimación incluso aproximada de la sangría porque, para empezar, sabemos muy poco sobre la diversidad. La extinción es el más oscuro y local de todos los procesos biológicos [...].

Pero no conocemos bien a la gran mayoría de especies de organismos; hemos de ungir todavía hasta el 90 por 100 de ellas con nombres científicos. De modo que los biólogos están de acuerdo en que no es posible dar el número exacto de especies que se extinguen; por lo general, ponemos las palmas de las manos hacia arriba y decimos que el número es muy grande. Pero podemos hacerlo mejor que esto. Permítaseme empezar con una generalización: *en la pequeña minoría de grupos de plantas y animales que son bien conocidos, la extinción está avanzando a una tasa rápida, muy por encima de la de los tiempos prehumanos. En muchos casos el nivel es calamitoso: el grupo entero se ve amenazado*.

Otro científico que se ha ocupado de la pérdida de biodiversidad y del calentamiento global y que ha sabido transmitir sus conocimientos y preocupaciones al público es el biogeógrafo estadounidense Jared Diamond (n. 1937), galardonado, al igual que Wilson, con el premio Pulitzer, en

su caso por su aclamado libro *Guns, Germs and Steel* (*Armas, gérmenes y acero*; 1997). En otros dos de sus libros más importantes destinados al gran público, *Collapse* (*Colapso*; 2005) y *Upheaval* (*Crisis*; 2019) encontramos manifestaciones de tales preocupaciones que enmarca en un conjunto general:

> Los procesos a través de los cuales las sociedades del pasado se han debilitado a sí mismas porque han deteriorado su medio ambiente se clasifican en ocho categorías, cuya importancia relativa difiere de un caso a otro: deforestación y destrucción del hábitat, problemas del suelo (erosión, salinización y pérdida de la fertilidad de suelo), problemas de gestión del agua, abuso de la caza, pesca excesiva, consecuencias de la introducción de nuevas especies sobre las especies autóctonas, crecimiento de la población humana y aumento del impacto per cápita de las personas [...]. Entre los problemas medioambientales a que nos enfrentamos hoy día se encuentran esos mismos ocho problemas que socavaron a las sociedades del pasado, más otros cuatro nuevos: el cambio climático producido por el ser humano, la concentración de productos químicos tóxicos en el medio ambiente, la escasez de fuentes de energía y el agotamiento de la capacidad fotosintética de la tierra por parte del ser humano.[65]

Sobre el cambio climático en particular, uno de los puntos en los que hizo hincapié es el de sus principales consecuencias:[66]

> La consecuencia más obvia para las personas de muchos lugares del mundo es la sequía [que] se manifiesta de forma desigual en todo el mundo: las áreas más afectadas son América del Norte, el Mediterráneo y Oriente Próximo, África, las tierras agrícolas del sur de Australia y el Himalaya [...]. Una segunda consecuencia de la tendencia al calentamiento global es la disminución de la producción alimentaria terrestre a causa de la mencionada sequía y, paradójicamente, por el aumento de la temperatura del suelo (por ejemplo, porque puede favorecer el crecimiento de la maleza frente al de los cultivos) [...]. Una tercera consecuencia del calentamiento es el desplazamiento de los insectos portadores de enfermedades tropicales hacia zonas más templadas [...]. La última de las consecuencias del

calentamiento global que tratamos aquí es el aumento del nivel del mar. El pronóstico de las estimaciones más conservadoras para este siglo es de un aumento de un metro, pero en el pasado llegaron a producirse aumentos de hasta 21 metros.

Agujeros en la capa de ozono

Muy diferente a la respuesta efectiva al cambio climático ha sido la que se produjo ante otra amenaza ambiental que se descubrió en el siglo XX. Me refiero a los agujeros en la capa de ozono.

El ozono (O_3) es una molécula formada por tres átomos de oxígeno, que desempeña un papel importante en la química de la atmósfera de la Tierra, a pesar de que constituye una parte muy pequeña de ella. La mayor cantidad de ozono atmosférico (el 90 %) se encuentra en una capa de alrededor de 20 kilómetros de espesor, a una altura de entre 25 y 30 kilómetros (esto es, se halla sobre todo en la estratosfera).

Para la vida en la Tierra, el ozono es especialmente importante ya que absorbe la radiación ultravioleta procedente del Sol, especialmente la radiación con longitud de onda entre 320 nm y 280 nm, que daña a las macromoléculas, como son, por ejemplo, las proteínas y los ácidos nucleicos, que, recordemos, son esenciales para las células de los organismos de los animales superiores, entre los que nos contamos los humanos. [67] Un componente principal de la atmósfera es el oxígeno (O_2), que facilita la absorción de la radiación ultravioleta de hasta 230 nm de longitud de onda, con el resultado de que para estas longitudes de onda sólo alrededor de una parte en 10^{16} de la intensidad de radiación solar llega a la superficie terrestre. Pero para longitudes de onda superiores sólo se dispone del ozono como pantalla protectora. El ozono es muy eficiente absorbiendo estas radiaciones debido a sus características químicas (a sus niveles de energía electrónica), lo que compensa su pequeña concentración en la atmósfera. Entre el oxígeno y el ozono se absorbe el 99 %

de la radiación de la banda UV-C; por ejemplo, para una longitud de onda de 250 nm, solamente una parte en 10^{30} de la radiación solar incidente llega a la Tierra.

La energía de la radiación ultravioleta que absorbe el ozono estratosférico, la cede a la atmósfera de su entorno, que de esta forma se calienta, creando una inversión de temperatura en la estratosfera, es decir, que cuanto mayor es la altitud más elevada es la temperatura. Tal aumento de temperatura en la región de la capa de ozono influye profundamente en la estructura de las temperaturas atmosféricas, así como en la estabilidad y corrientes de convección de las capas altas de la atmósfera.

Además del ozono estratosférico, también se forma ozono en la troposfera (la capa de la atmósfera entre la superficie terrestre y la estratosfera) debido a la contaminación. Este ozono absorbe la radiación ultravioleta, pero a su vez poluciona mucho, ya que daña los pulmones y las plantas.

En cuanto a cómo se forma el ozono, lo hace a partir del oxígeno atmosférico, en reacciones favorecidas por la energía procedente también de la absorción de luz solar ultravioleta. A su vez, este oxígeno es de origen mayoritariamente biológico. En otras palabras, el ozono necesario para proteger la vida depende, él mismo, de la propia vida para llegar a existir. La naturaleza es, ciertamente, un complejo y altamente interconectado sistema.

La mayoría de los procesos a los que he hecho referencia eran conocidos desde hace bastante tiempo, pero fue en la década de 1970 cuando se realizaron descubrimientos que modificaron sustancialmente cómo se percibía la situación. En realidad todo empezó unos años antes, con la creación en la década de 1930 de unos nuevos compuestos químicos, conocidos como clorofluorocarbonos (CFC), que al igual que el metano o el etano contienen carbono, pero que en lugar de átomos de hidrógeno tienen átomos de cloro o flúor. El hallazgo se produjo en los laboratorios del gigante de la industria química

estadounidense Du Pont, donde sus químicos idearon un nuevo propelente de ese tipo que podía ser almacenado en pequeñas latas de metal. Sólo faltaba que se dispusiese de una válvula que permitiese hacer salir el contenido de la lata apretando con el dedo (los denominados *sprays*), algo que se logró en la década de 1950. Los CFC más sencillos, y los que más se producían en la década de 1970, eran el $CFCl_3$, el CF_2Cl_2, o el $CClF_3$. Estos gases son inertes, insolubles y transparentes; perfectos, por consiguiente, para utilizarlos en refrigeradores y como propelentes de desodorantes y otros diversos productos presentados en forma de *sprays*. Los llamados aerosoles inundaron los mercados con todo tipo de productos (desde desodorantes hasta insecticidas), que eran expulsados, atomizados, por el CFC que contenían. Se fabricaron millones y millones de aerosoles, y cada uno contribuía con una modesta, pero no nula, cantidad de CFC a la atmósfera. No obstante, nadie veía un problema en ello. Hasta que los científicos comenzaron a producir trabajos que terminarían por invertir esa situación. El primero que hay que mencionar en este sentido es a un ingeniero holandés que había hecho de la química su hogar intelectual, Paul Crutzen (1933-2021), quien resaltó la importancia que para el ozono atmosférico tenían las reacciones que involucraban óxidos de nitrógeno.[68] Sobre esta base, en 1971 el químico estadounidense, especializado en cinética química y química atmosférica, Harold Johnston (1920-2012), argumentó que la emisiones de óxidos de nitrógeno que producirían la flota de aviones supersónicos que se estaba pensando en poner en circulación —el *Concorde* en Europa, y un Boeing supersónico que finalmente no se construyó por motivos económicos— disminuiría seriamente la capa de ozono.[69] Finalmente, en 1974 dos miembros del Departamento de Química de la Universidad de California, en Irving, el estadounidense Sherwood Rowland (1927-2012) y su estudiante posdoctoral, el mexicano (que terminó instalándose definitivamente en Estados Unidos) Mario Molina (1943-2020), identificaron CFC producidos

industrialmente como responsables de la reducción de la capa de ozono.70

Para comprender mejor la dinámica de los procesos químicos desvelados por estos investigadores, recordaré algunos de los que explicaron.

Consideremos uno de esos clorofluorocarbonos, el $CClF_3$ (monocloro-trifluorometano), estudiado por Rowland y Molina. Éste recibe radiación ultravioleta (RUV), descomponiéndose en CF_3, por una parte, y Cl (cloro), por otra; por tanto, se libera cloro en la atmósfera.

Este cloro se combina con el ozono según varios ciclos. El más sencillo es el siguiente:

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$
$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

El saldo neto de estas dos reacciones es, por un lado, que el ozono se convierte en oxígeno normal ($O_3 + O \rightarrow O_2 + O_2$), y que el cloro continúa libre, con lo que puede reanudarse el ciclo, que destruye más ozono.

Otro ciclo es el que interviene, como catalizador, un compuesto del nitrógeno, NO (óxido nítrico):

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$
$$ClO + NO \rightarrow Cl + NO_2$$
$$NO_2 + RUV \rightarrow NO + O$$

También aquí, el saldo es poco favorable para el ozono:

$$O_3 + RUV \rightarrow O_2 + O$$

esto es, el ozono se destruye, dando lugar al químicamente diferente O_2, más átomos de oxígeno, y el cloro sigue libre.

La presencia del óxido nítrico, que como el cloro se regenera en este ciclo, tampoco debe pasar desapercibida. El nitrógeno es, con mucho, el constituyente más abundante de la atmósfera (forma el 79 % de ella), de manera que se puede disponer de él fácilmente para formar óxidos, que contribuyan a hacer desaparecer el ozono. Una manera de

producir NO es la combustión que tiene lugar en aviones supersónicos, como el ya no operativo *Concorde*, y en vehículos espaciales.

Que estos fenómenos se producen en realidad, es algo que comenzó a hacerse especialmente patente en la primavera de 1985, cuando se detectó sobre la Antártida una rápida, dramática, disminución de ozono.[71] En mayo de aquel año, Joe Farman (1930-2013) y otros colegas suyos del British Antartic Survey (Reconocimiento Antártico Británico) publicaron un artículo en la revista inglesa *Nature*, en el que, utilizando tanto datos propios como otros que se remontaban a finales de 1956, señalaban que en octubre la concentración de ozono atmosférico sobre la estación en la que trabajaban, en la Bahía Halley de la Antártica, había disminuido en un 40 % respecto a su valor medio durante las últimas décadas.[72] La disminución había comenzado, indicaban, a finales de 1970 y aumentado durante los comienzos de la década de 1980, siguiendo el crecimiento de la presencia de cloro en la atmósfera debido al uso de CFC. A partir de entonces fueron cada vez más frecuentes las noticias de nuevos «agujeros en la capa ozono» (en Argentina se llegó a detectar una pérdida, estacional, del 30 % de su capa de ozono; 80 % sobre la Patagonia).

Como reacción ante estos hechos, en 1987 la ONU redactó el denominado «Protocolo de Montreal», que reclamaba una reducción del 50 % en las emisiones de CFC para 1999. Ante el aumento de las evidencias, pronto se exigió una prohibición total en el empleo de estos gases: en 1992 se adelantó la fecha de 1999 al 1 de enero de 1996, prohibiéndose totalmente su producción. Las mediciones realizadas posteriormente confirmaron que la emisión de CFC había cesado prácticamente; se estimó que se ha perdido entre el 10 y el 15 por ciento de la capa de ozono.[73] Contrasta el éxito del Protocolo de Montreal con lo que ha sucedido con las medidas que se han estado intentando implementar, como hemos visto, con relación a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Se estima que el agujero de ozono antártico desaparecerá hacia 2050. Sin el trabajo de los químicos habría sido mucho peor, aunque al igual que en el caso del cambio climático no faltaron quienes rechazaron los resultados de Rowland y Molina; la industria del aerosol, por ejemplo, reaccionó muy pronto a su artículo subvencionando investigaciones propias y programas de publicidad para defender sus productos.74

Ante semejante escenario, no es sorprendente que Crutzen, Rowland y Molina recibieran el premio Nobel de Química correspondiente a 1995. Merece la pena recordar algunas palabras que pronunció en la ceremonia de presentación de los galardones, Ingmar Grenthe, de la Academia Sueca de Ciencias, resumiendo las contribuciones del trío. «Hace alrededor de treinta años», dijo entonces, «los humanos fueron capaces de observar, por primera vez, nuestro planeta desde el espacio. Vimos blancas formaciones de nubes, vegetación verde y suelos y montañas marrones. Desde el espacio, podríamos ver y estudiar la Tierra en su conjunto. Hemos llegado a comprender que influimos y somos influidos por nuestra bioesfera, nuestra área vital. Uno de los objetivos de la ciencia es describir y explicar cómo sucede esto. En sus investigaciones sobre las reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera terrestre, los laureados con el premio Nobel de Química —Paul Crutzen, Mario Molina y Sherwood Rowland— han adoptado esta perspectiva global.»

A continuación, Grenthe señalaba la importancia del ozono para absorber radiación ultravioleta, explicando mecanismos que ya he comentado hace un momento, y recalcando que «se ha tardado cientos de millones de años para que la biosfera llegue a tener la composición atmosférica que tiene hoy». En este punto comenzaba a relatar las contribuciones de los tres químicos: «Los laureados de este año han llevado a cabo una serie de contribuciones mayores a nuestro conocimiento de la química atmosférica. Éstas han incluido estudiar cómo se

forma y descompone el ozono y cómo puede verse afectado por sustancias químicas existentes en la atmósfera, muchas de las cuales son producto de las actividades humanas. En 1970, Crutzen demostró que óxidos de nitrógeno, formados durante procesos de combustión, podrían afectar al ritmo de disminución del ozono en la estratosfera. Sugirió que el óxido nitroso, popularmente conocido como «gas de la risa» y que se forma a través de procesos microbiológicos en la tierra, podría tener el mismo efecto. También ha estudiado la formación del ozono en la baja atmósfera. El ozono es uno de los ingredientes del *smog*, que se forma por la influencia de la radiación solar en aire contaminado, específicamente gases emitidos por motores de vehículos y otros sistemas de combustión. Mientras que el ozono estratosférico es un prerrequisito para la vida, el ozono troposférico es fuertemente tóxico y dañino para muchos organismos, incluso en pequeñas cantidades». «En 1974», añadía, «Mario Molina y Sherwood Rowland demostraron que compuestos de cloro formados por la descomposición fotoquímica de clorofluorocarbonos (CFC o gases de «freón») podía descomponer el ozono estratosférico. Presentaron hipótesis detalladas de cómo tienen lugar estos complicados procesos.»

Una primavera cada vez menos silenciosa

Otro de los grandes «temas de nuestro tiempo», de hecho una cara diferente de los que acabo de tratar, es el de la contaminación que sufre la Tierra, producto en buena medida de la irresistible alianza que ha representado y representa el aumento de la población mundial y de algunos desarrollos científico-técnicos. Hoy somos perfectamente conscientes de los peligros de la contaminación, ahora bien, ¿cuándo se convirtió este hecho en un problema del que capas amplias de la sociedad fueron conscientes?

Es difícil contestar a una pregunta como ésta pero, si hay que señalar un momento, ese sería 1962, el año en que

se publicó un hermoso libro titulado *Silent Spring* (*Primavera silenciosa*), de una zoóloga estadounidense, Rachel Louise Carson (1907-1964), en el que se efectuaba una de las más poderosas y efectivas denuncias de los efectos nocivos que para la naturaleza tenía el empleo masivo de productos químicos como los pesticidas, el DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) en particular, un producto éste que tantos beneficios había aportado hasta entonces.[75]

El ataque de Carson al DDT, al que calificaba de «elixir de la muerte», fue brutal y conmovedor. «Por primera vez en la historia del mundo —escribía en el capítulo tercero, titulado «Elixires de la muerte— todo ser humano está ahora sujeto al contacto con peligrosos productos químicos, desde su nacimiento hasta su muerte. En menos de dos décadas de uso, los pesticidas sintéticos han sido tan ampliamente distribuidos a través del mundo animado e inanimado, que se encuentran virtualmente por todas partes. Se han hallado residuos de esos productos en la mayoría de los sistemas fluviales importantes e incluso en corrientes subterráneas que fluyen desconocidas a lo largo de la tierra. Residuos de estos productos químicos permanecen en suelos a los que pueden haber sido aplicados una docena de años antes. Han penetrado y se han instalado en los cuerpos de peces, pájaros, reptiles y animales domésticos y salvajes tan universalmente que los científicos que llevan a cabo experimentos con animales encuentran casi imposible localizar ejemplares libres de tal contaminación. Han sido hallados en peces de lagos situados en montañas remotas, en lombrices de tierra recogidas en sembrados, en huevos de pájaros... y en el propio hombre. Porque tales productos químicos están ahora almacenados en el cuerpo de la mayoría de los humanos, sin discriminación de edades. Se encuentran en la leche materna, y probablemente en los tejidos de los niños que todavía no han nacido.»[76]

Esto se había producido, continuaba, «debido a la repentina aparición y prodigioso crecimiento de una industria para la producción de productos químicos

fabricados por el hombre, o sintéticos, con propiedades insecticidas. Esta industria es hija de la Segunda Guerra Mundial. En el curso del desarrollo de agentes de guerra química, se encontró que algunos de los productos químicos creados en el laboratorio eran letales para los insectos. El descubrimiento no vino por azar: se utilizaban ampliamente insectos para comprobar los productos químicos como agentes de muerte para el hombre». Y el resultado había sido «un, al parecer, interminable río de insecticidas sintéticos. Al ser elaborados por el hombre —mediante ingeniosas manipulaciones de moléculas realizadas en el laboratorio, substituyendo átomos, alterando su disposición —, difieren profundamente de los insecticidas inorgánicos más simples de antes de la guerra. Éstos se habían obtenido de minerales y productos de plantas que aparecen de manera natural». Y continuaba:[77]

> Lo que sitúa en un lugar aparte a los nuevos insecticidas sintéticos es su enorme potencia biológica. Tienen inmenso poder no meramente para envenenar, sino para entrar en los procesos más vitales de los cuerpos y cambiarlos en formas siniestras y a menudo mortales. Así [...] destruyen aquellas enzimas cuya función es proteger al cuerpo contra el daño, bloquean los procesos de oxidación de los que el cuerpo recibe su energía, previenen el funcionamiento normal de varios órganos y pueden iniciar en ciertas células el lento e irreversible cambio que conduce a la malignidad.
>
> Y sin embargo, se añaden a la lista cada año nuevos y más letales productos químicos y se diseñan nuevos usos de manera que el contacto con estos materiales se ha convertido en prácticamente mundial. La producción de pesticidas sintéticos en los Estados Unidos se elevó de 124.259.000 libras en 1947 a 637.666.000 libras en 1960, un incremento de más de cinco veces. El valor de venta de estos productos fue bastante superior a 250 millones de dólares. Pero en los planes y esperanzas de la industria esta enorme producción es sólo el principio.
>
> Un «Quién es Quién» de los pesticidas es, por consiguiente, algo que nos interesa a todos. Si vamos a vivir tan íntimamente con estos productos químicos —comiéndolos y bebiéndolos, recibiéndolos en la misma médula de nuestros huesos— mejor será que conozcamos algo acerca de su naturaleza y su poder.

No es sorprendente que las denuncias que Carson realizaba en su libro encontrasen pronta respuesta, en primer lugar por el influyente *lobby* agroquímico norteamericano (industrias químicas y agrícolas productoras de insecticidas), que lanzó una campaña de publicidad basada en invitar a la ciudadanía a que imaginase un mundo sin productos químicos; si se siguiesen las indicaciones de Carson, decían, el resultado sería regresar a un mundo en el que reinaría el hambre: si los americanos aceptaban sus ideas, declaraba William Darby, director del Departamento de Bioquímica de la Escuela Vanderbilt de Medicina (Nashville, Tennessee), se enfrentarían al «final del progreso humano, regresando a un estado social desprovisto de tecnología, medicina científica, agricultura, sanidad. Significaría enfermedad, epidemias, hambre, miseria y sufrimiento».78 El rechazo a sus planteamientos también llegó de algunos organismos públicos, como algunos miembros del Servicio de Salud Pública que mantenía que sus propias investigaciones demostraban que ni el DDT ni otros pesticidas representaban peligro. Ezra Taft Benson, que sirvió como secretario de Agricultura en la administración del presidente Eisenhower, consideraba que Carson era un agente subversivo y que «probablemente era comunista». Por otro lado, la comunidad de los entomólogos se sintió atacada, entendiendo que Carson les consideraba expertos de cortas miras, mientras que ellos pensaban que, al contrario que las bombas atómicas, el DDT no constituía una seria amenaza. Un ejemplo especialmente desagradable, pero significativo, de crítica fue la reseña que H. Davidson, de San Francisco, publicó en el *New Yorker*: «En lo que se refiere a los insectos, ¿no es sino como una mujer asustada mortalmente por unos pocos gusanos? Mientras tengamos la bomba H, todo irá bien».79

A pesar de estas reacciones, el libro de Carson se convirtió enseguida en un éxito de ventas (se vendieron medio millón de ejemplares y encabezó la lista de ventas durante 31 semanas), obligando a que se formase un

Comité Asesor del Presidente para el empleo de pesticidas. No se limitó su influencia a este hecho, reducida, por otra parte, a un solo país: *Silent Spring* inspiró un movimiento mundial de preocupación por la conservación de la naturaleza, convirtiéndose en la Biblia de los movimientos ecologistas. «Sin este libro», escribió el entonces vicepresidente de Estados Unidos Al Gore, en una introducción a una reedición de *Silent Spring*, «el movimiento medioambiental podría haberse visto retrasado durante mucho tiempo, o no haber aparecido nunca.»[80] Aun así, y a pesar de que en 1992 un grupo de norteamericanos notables designase *Silent Spring* como el libro más influyente de los últimos cincuenta años, el empleo de pesticidas no disminuyó, aunque sí lo hizo el empleo del DDT. Desde la publicación del libro de Carson, la utilización de pesticidas en la agricultura en Estados Unidos se duplicó, alcanzando los 1.100 millones de toneladas anuales.[81] Y es incluso peor: los compatriotas de Rachel Carson prohibieron algunos pesticidas en su patria, pero continuaron produciéndolos y exportándolos a otros países, como reconocía el propio Al Gore.[82]

El DDT y la ambivalencia de la ciencia

Los argumentos de Rachel Carson fueron y continúan siendo, aun cuando hace ya mucho que su voz no nos acompaña, poderosos. No hay duda del deterioro que sufre la naturaleza debido a la agresión química de los pesticidas, una agresión mucho más permanente de lo que pensaban sus introductores, a los que animaba la justificada —no lo olvidemos— pretensión de combatir plagas en la agricultura o, como veremos, enfermedades en los humanos. Carson denominaba al DDT el «elixir de la muerte», pero si ampliamos nuestra visión histórica semejante calificación puede resultar injusta. Para comprender tal punto de vista es preciso decir algo de la historia del DDT.

El DDT fue obtenido por primera vez en 1873, por un

estudiante de química austríaco de nombre Othmer Zeidler. El procedimiento que siguió fue el de mezclar ácido sulfúrico con clorobenceno, una sustancia química clorada, conocida entonces por su rápido efecto como somnífero. El resultado fue un precipitado blanco de cristales: el DDT, un producto en el que nadie reparó.

Paul Hermann Müller (1899-1965) lo redescubrió en 1939, mientras trabajaba en la compañía suiza J. R. Geigy A. G., en Basilea, para la que buscaba nuevos insecticidas. Él sí se dio cuenta de la gran capacidad con el que el nuevo producto mataba todo tipo de insectos utilizando dosis muy bajas. La producción industrial comenzó inmediatamente y en los treinta años siguientes se fabricaron 30 millones de toneladas de DDT.

Pero fue durante la Segunda Guerra Mundial cuando su uso se extendió más. En 1944, los Aliados lo utilizaron para detener un brote de tifus, producido por los piojos, en Nápoles, y continuaron empleándolo rociando con él las cabezas y vestimentas de las poblaciones por las que iban pasando (en la Primera Guerra Mundial, y aunque el número exacto no se ha determinado, millones de personas murieron de tifus). John Emsely ha señalado que «se calcula que el DDT terminaría salvando unos 50 millones de vidas», lo que «en un mundo desgarrado por la guerra era una extraordinaria noticia».[83]

¿Cómo no va a ser una noticia extraordinaria salvar 50 millones de vidas? En un mundo desgarrado por una guerra, al igual que en uno bendecido por la mayor utopía. En 1948 se puso en marcha una campaña para erradicar, empleando DDT, la malaria de Ceilán, entonces una colonia británica (hoy Sri Lanka). El efecto de aquella campaña queda claro al leer los siguientes pasajes de un informe relativo a la población y recursos mundiales:[84] «En Europa los conocimientos que contribuyeron a controlar la mortalidad se adquirieron poco a poco, por lo que la población creció de modo gradual. En los países subdesarrollados, en cambio, los conocimientos acumulados durante dos siglos se han vuelto accesibles de la noche a la

mañana y, por consiguiente, los índices de mortalidad han descendido con una rapidez muy superior a la que jamás se registró en la Europa occidental. En Ceilán, para citar un caso extremo pero muy ilustrativo, el mosquito palúdico ha sido exterminado con DDT y las muertes bajaron del 22 al 12 por mil durante los siete años comprendidos entre 1945 a 1952 (inmediatamente después de rociar con DDT los focos palúdicos, el índice de mortalidad bajó del 20 al 14 por mil en un solo año: 1946-1947). En Inglaterra y Gales se tardó setenta años en lograr el mismo descenso. En Mauricio el descenso de 27 a 15 muertes por mil, que costó cien años en Inglaterra y Gales, también se logró en unos siete años».

Dos años después de que se iniciase la campaña en Ceilán, en 1948 y no sorprendentemente Müller recibió el premio Nobel de Medicina por «su descubrimiento de la alta eficacia del DDT como un veneno de contacto contra varios artrópodos». Cuando se lee el discurso de presentación que realizó en la ceremonia oficial un miembro del Instituto Carolino, G. Fischer, encontramos abundantes referencias a los beneficios médicos que se derivaban del empleo del DDT. «Por consiguiente, con el DDT tenemos un remedio extremadamente valioso para luchar contra la malaria, la más extendida de todas las enfermedades contagiosas, que afecta cada año a unos 300 millones de personas, causando anualmente al menos tres millones de muertes. Se han obtenido resultados significativos en los casos de muchas otras enfermedades difundidas por insectos, tales como plagas y fiebre amarilla.» Y al finalizar su presentación, Fischer dirigió al galardonado las siguientes palabras: «Dr. Paul Müller. He intentado ofrecer una breve panorámica del desarrollo histórico del DDT. Su descubrimiento de la fuerte acción insecticida por contacto del dicloro-difenil-tricloroetano es de la mayor importancia en el campo de la medicina. Gracias a usted, la medicina preventiva es capaz ahora de combatir muchas enfermedades transmitidas por insectos de una forma completamente diferente a la empleada hasta

el momento. Además, su descubrimiento ha estimulado, a lo largo y ancho del mundo, la investigación en nuevos insecticidas».

Después de *Silent Spring* es difícil imaginar que se hubiesen pronunciado tales palabras, pero en su momento estaban justificadas, cuando únicamente se conocían las virtudes de la sustancia desarrollada por Müller. Después todo cambió y el DDT se convirtió en una palabra maldita, prohibiéndose en la mayoría de los países para su uso en agricultura (en 1972 en Estados Unidos, pero en Inglaterra se usó hasta 1984). Pero se siguió utilizando para controlar la malaria, hasta que se descubrió que los mosquitos se habían hecho resistentes al DDT en algunos países, abandonándose su empleo para este fin. No obstante, en 2006, casi treinta años después de la prohibición de fumigar con DDT dentro de las casas para controlar la malaria, la Organización Mundial de la Salud señalaba que el uso de este insecticida iba a desempeñar de nuevo un papel clave en los esfuerzos para combatir la enfermedad, y recomendaba fumigar ligeramente en áreas de epidemia y en zonas donde se daba una transmisión constante y alta de la enfermedad, incluida toda África.

Herbicidas en Vietnam

Si del DDT podemos decir que reportó beneficios, aunque luego se descubriesen los peligros que significaba su uso, no se puede decir lo mismo de otros elementos químicos, los herbicidas.

Durante la Segunda Guerra Mundial la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico de Estados Unidos inició investigaciones sobre compuestos químicos que mataban las plantas empleándose en bajas concentraciones (antes de la guerra los herbicidas eran pocos y poco eficaces). Asimismo, miembros del Servicio Químico de Guerra consideraron la utilización de productos químicos como herbicidas y defoliantes (ocasionan que las hojas se desprendan de las plantas) para eliminar así la vegetación

que podía servir a las tropas japonesas para ocultarse, comenzando investigaciones en este sentido en 1944. Según el director del programa de investigación, George Merck, «solamente el rápido final de la guerra impidió que se efectuasen pruebas en el mismo campo de batalla con agentes sintéticos que, sin dañar a humanos o a la vida animal, afectarían al crecimiento de las cosechas, convirtiéndolas en improductivas».[85]

En Vietnam fue diferente. De hecho, en 1962 —precisamente el año en que se publicó *Silent Spring*— un oficial de Vietnam del Sur anunció que Estados Unidos y su país esparcirían herbicidas para destruir cosechas al igual que la vegetación en la que se escondían las guerrillas comunistas. Finalmente el plan para destruir las cosechas se abandonó, pero no el destinado a eliminar la vegetación, que se convirtió en una gigantesca acción conocida como «Operation Ranch Hand». Los aviones que derramaban sobre el terreno las «semillas» de aquella terrible cosecha también lanzaban panfletos en los que se «aseguraba a los granjeros que los productos químicos no ofrecían peligro para humanos y animales». Se trataba, obviamente, de otro tipo de «guerra química» y pronto fue denunciada como tal. En 1963, la revista *New Republic* declaraba que «la silenciosa guerra en Vietnam del Sur (o, uno debería decir: silenciada)» había entrado en una nueva fase con el empleo de defoliantes. La afirmación del Pentágono de que no utilizaba gases venenosos «es cierta únicamente si se postula que existe una diferencia esencial entre algo venenoso y algo altamente tóxico». Un defoliante «afecta malamente a los campesinos —hombres, mujeres y niños— atrapados en medio de una guerra criminal». Aquel mismo año, Bertrand Russell escribía que la utilización de bombas de napalm y defoliantes «constituye y produce atrocidades, y apunta al hecho de que ésta es una guerra de aniquilación». Sin embargo, para los conservadores estadounidenses, «la mejor manera de que los Estados Unidos logre sus fines militares en el sur de Asia», declaraba el *National Review*, «sería basarse en la guerra

química», porque muestra «nuestra verdadera fuerza: la producción de armas que pueden contrarrestar eficazmente una masa muy numerosa».[86]

Cuando en 1966 Bertrand Russell y Jean-Paul Sartre promovieron un Tribunal Internacional Sobre Crímenes de Guerra —conocido sobre todo como «Tribunal Russell», aunque a veces también como «Tribunal Russell-Sartre» — para investigar la actuación de Estados Unidos en Vietnam, los defoliantes figuraron entre los asuntos tratados. En la sesión celebrada el 22 de noviembre de 1967, el pediatra y activista ecológico francés Alexandre Minkowski (1915-2204) presentó un informe a la subcomisión de guerra química en el que tras explicar que los propósitos de la defoliación eran «establecer la seguridad a lo largo de las rutas y cortar la infiltración del Vietcong desde el centro al sur de Vietnam», «impedir la concentración bajo la cobertura de hojas y reducir la frecuencia de las emboscadas» y «extender el hambre al Vietcong», señalar qué productos se habían utilizado y cómo actuaba Estados Unidos (en 1961, 60 misiones de aviación destinadas a atacar el arroz, la caña, el azúcar y las legumbres; en 1962, 107 para defoliar las riberas del Mekong y las llanuras altas; mientras que en 1966 se habían lanzado medio millón de litros de herbicidas sobre 200.000 hectáreas), concluía:[87]

> En Vietnam se trata de algo más grave que la «defoliación» porque las sustancias químicas que provocan solamente la caída de hojas sin atacar al resto de la planta ni interrumpir el ciclo vegetativo están todavía siendo estudiados en la actualidad. Este término no se aplica por consiguiente a las operaciones que consisten en verter toneladas de herbicidas y arboricidas sobre los bosques y los cultivos alimenticios. «Defoliación» es un eufemismo para designar la destrucción de la vegetación. A pesar de que la Comisión política de la ONU no ha creído tener que condenar a Estados Unidos, la utilización de armas químicas amenaza provocar reacciones biológicas insospechadas en un futuro próximo.

Una vez más, ciencia, política y guerra mezcladas en

una de las poliédricas combinaciones que tantas veces contempló el siglo xx, al igual que otras centurias, pasadas y tal vez también futuras.

Epílogo

Si algo queda claro de las páginas de este libro es que en lugar de hablar del «poder de la ciencia», es más adecuado decir que «la ciencia da poder». Por eso, una historia con pretensiones «socioeconómicas» debe prestar atención a las naciones en las que trabajan los científicos, y a las circunstancias políticas de esos países dependientes de la situación internacional (por ejemplo, las dos guerras mundiales o la Guerra Fría), al igual que a las instituciones científicas y empresas cuyo éxito depende estrechamente de la I+D. Desde este punto de vista, no es sorprendente que los países que han protagonizado una gran parte de este libro hayan sido Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, la Unión Soviética y, en menor medida, Francia. Sin embargo, cuando el siglo XXI ha recorrido sus dos primeras décadas, está claro que ha entrado en escena con fuerza un nuevo protagonista, al que sin duda habrá que tener muy en cuenta en esta nueva centuria: China.

La entrada de este país en el mapa científico internacional se observa en muy diferentes ámbitos. Uno de ellos es el espacial, escenario frecuente de los enfrentamientos político-propagandísticos de las grandes potencias (Estados Unidos *versus* la Unión Soviética). China ya es una potencia mundial en la exploración espacial, y sus logros en este campo se deben entender con motivos parecidos a los que llevaron a Estados Unidos y la Unión Soviética a emprender esa senda en el siglo XX. Un magnífico ejemplo en este sentido es que el 2 de enero de 2019 la sonda espacial china *Chang'e 4* alunizó en el cráter Aitken, el mayor cráter de impacto que existe en la Luna, situado en la cara oculta, nunca antes pisada por un artefacto espacial.[1]

Chang'e-4 transportaba un vehículo, el *Yutu-2*, que utilizando técnicas de análisis espectroscópico estudió el

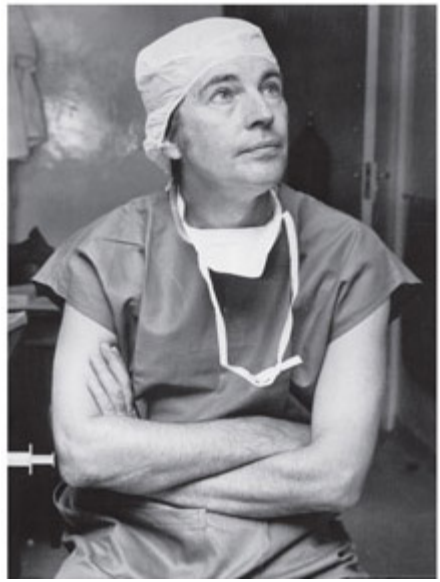
manto lunar. Que alunizase en ese lugar es muy importante pues se cree que la colisión que formó ese cráter fue tan fuerte que atravesó la corteza lunar, haciendo que quedasen expuestos en la superficie rocas del manto, las que la misión china ha analizado. Y estudiar el manto de la Luna en profundidad, algo que no habían hecho las anteriores misiones, puede dar claves esenciales para determinar cómo se formó nuestro satélite. Ninguno de los materiales recogidos en las misiones estadounidense y soviéticas procedían de la cara oculta de la Luna.[2]

Otro ejemplo de la presencia de China en los dominios científicostecnológicos más avanzados está asociado a uno de los fenómenos cuánticos más sorprendentes: el entrelazamiento, un concepto y término (*Verschränkung* en alemán) introducido por Erwin Schrödinger en 1935 y vislumbrado también en el célebre artículo que Albert Einstein publicó ese mismo año junto a Boris Podolsky y Nathan Rosen. Se trata de la propiedad de que dos partes de un sistema cuántico están en «comunicación» instantánea, sin importar la distancia que los separe, de manera que acciones sobre una parte tienen efectos instantáneos en la otra, una propiedad a la que Einstein se refirió en una carta a Max Born de 1947 como «acción a distancia fantasmagórica [*spukhafte Fernwirkung*]». Se trata, evidentemente, de una propiedad contraintuitiva, pero que deriva de la «no localidad» que caracteriza a los sistemas cuánticos. Pues bien, el entrelazamiento cuántico existe. La prueba definitiva la proporcionaron tres grupos: de la Universidad de Delft, del National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos y de la Universidad de Viena. En los experimentos del grupo de Viena, dirigido por Anton Zeilinger, se utilizaron dos detectores, situados en la isla de La Palma y en la de Tenerife, respectivamente, esto es, separados 143 kilómetros.

China se sumó a estas investigaciones a través de un satélite, «Micius», que lanzó en agosto de 2016 situándose en una órbita a 400 kilómetros de altura sobre la Tierra. No se trataba de uno más de los alrededor de 2.700 satélites

que por entonces orbitaban la Tierra, era mucho más que eso: estaba dedicado a la ciencia de la información cuántica, basada en el entrelazamiento, una de cuyas características es que permite comunicaciones completamente seguras. Menos de un año después, en julio de 2017 el equipo encabezado por Jian-Wei Pan, de la Universidad de Ciencia y Tecnología de China, en Shanghái, dio a conocer un artículo («Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers», arXiv: 1707.01339 [quant-ph]), posteriormente publicado en *Science* en el que explicaban que se había superado ampliamente la distancia alcanzada previamente (100 kilómetros) en el envío de señales entrelazadas. Emitiendo pares de fotones entrelazados desde «Micius» que llegaron a dos receptores ubicados en dos localidades de China separadas 1.203 kilómetros observaron que el entrelazamiento se conservaba. De esta manera daban un paso más en el camino a la transmisión de señales seguras, que ningún «intermediario» podrá interceptar. Un camino que debe conducir a una «internet cuántica». Y ahí China, al igual que en otros campos, está situándose en una posición de liderazgo.

En realidad, nada de esto es nuevo. En la historia de la humanidad abundan los cambios de hegemonías (egipcios, griegos, romanos, turcos, españoles, ingleses...). La historia fluye, cambia, se transforma. Como la vida misma.



Christiaan Barnard.
© / akg-images.

Archibald E. Garrod.
Album.

BRITAIN'S BIGGEST EVENING SALE

Evening News

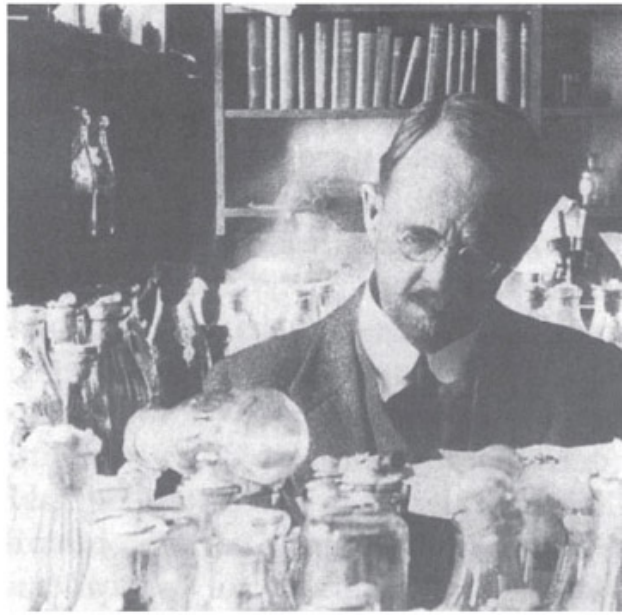
LATE SPECIAL CITY PRICES

Meet Louise, the world's first test-tube arrival

SUPERBABE

Wide-eyed Louise Brown pictured in hospital 18 hours after she was born. Today she's doing well. See Page Three

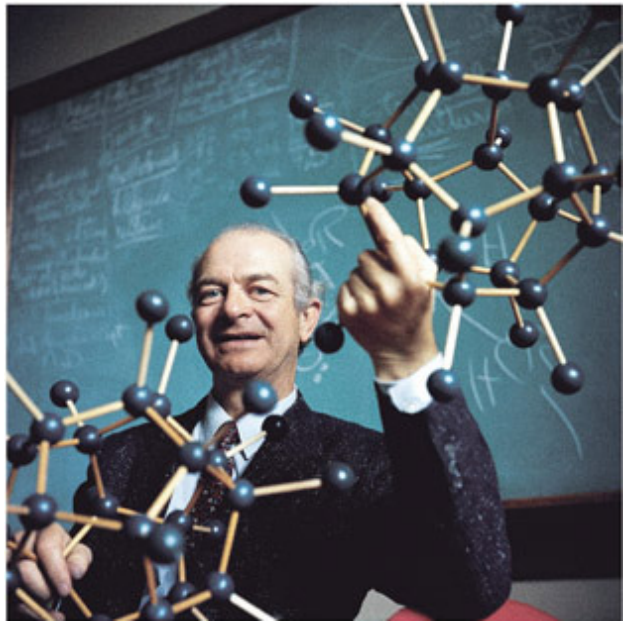
Luoise Brown, el primer bebé probeta.
© / Granger, NYC.



Thomas H. Morgan trabajando en su laboratorio de la Universidad de Columbia, *c*. 1915-1920.

Ostwald Avery.
© / Science Source / National Library of Medicine.

Max F. Perutz y John Kendrew. Linus Pauling.
© / TT News Agency.



Linus Pauling.
© / Science Source / Tom Hollyman / Album.

James Watson y Francis Crick ante un modelo tridimensional de ADN (1953).

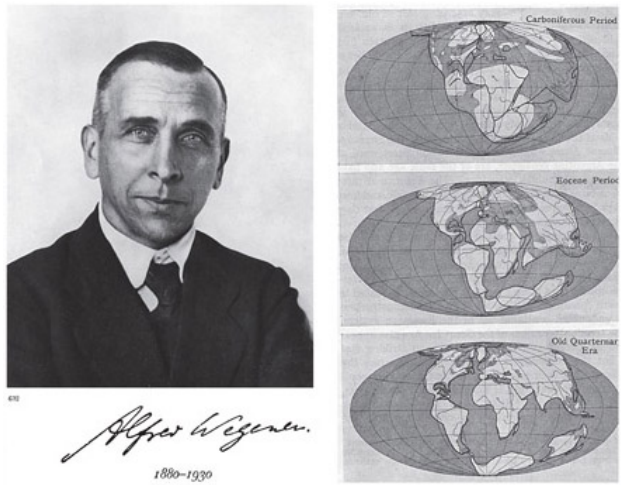
El Proyecto Genoma Humano.

Album.

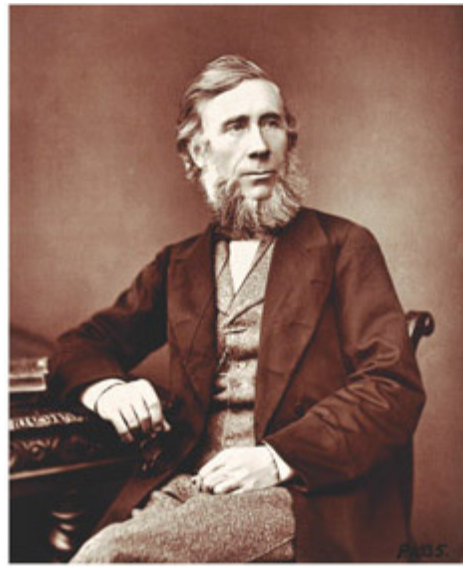
Craig Venter.
© / EFE / Album.

Ian Wilmut con la oveja *Dolly*.

E. Charpentier, J. Doudna y F. Mojica.
© / EFE / Album.

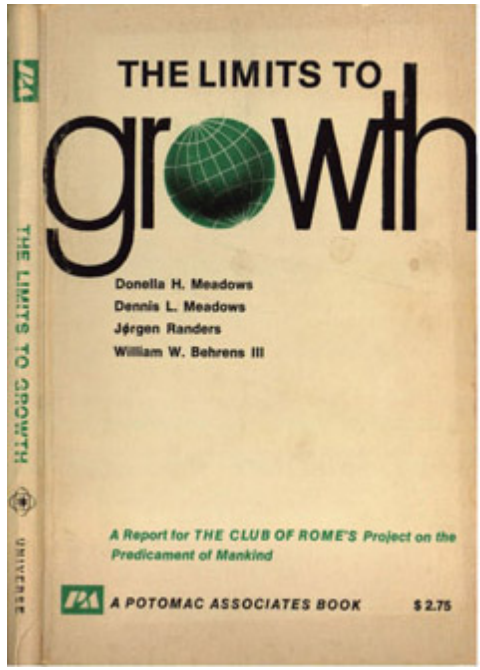


Alfred Wegener.
© / Oxford Science Archive / Heritage Images / Album.



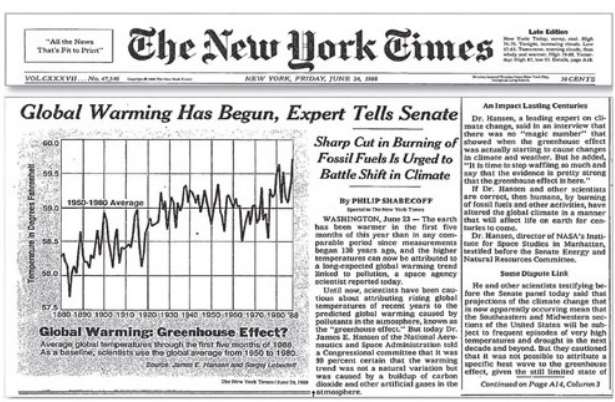
Svante Arrhenius.
© / Universal History Archive / Universal Images Group / Album.

John Tyndall.
© / Science Source / Album.



Informe del Club de Roma.
Album.

Donella H. Meadows.
Album. Album.



"All the News That's Fit to Print"

The New York Times

Late Edition

VOL. CXXXVII... No. 47,346 NEW YORK, FRIDAY, JUNE 24, 1988 50 CENTS

Global Warming Has Begun, Expert Tells Senate

Sharp Cut in Burning of Fossil Fuels Is Urged to Battle Shift in Climate

By PHILIP SHABECOFF
Special to The New York Times

WASHINGTON, June 23 — The earth has been warmer in the first five months of this year than in any comparable period since measurements began 130 years ago, and the higher temperatures can now be attributed to a long-expected global warming trend linked to pollution, a space agency scientist reported today.

Until now, scientists have been cautious about attributing rising global temperatures of recent years to the predicted global warming caused by pollutants in the atmosphere, known as the "greenhouse effect." But today Dr. James E. Hansen of the National Aeronautics and Space Administration told a Congressional committee that it was 99 percent certain that the warming trend was not a natural variation but was caused by a buildup of carbon dioxide and other artificial gases in the atmosphere.

Global Warming: Greenhouse Effect?

Average global temperatures through the first five months of 1988. As a baseline, scientists use the global average from 1950 to 1980.

Source: James E. Hansen and Sergej Lebedeff

The New York Times/June 24, 1988

An Impact Lasting Centuries

Dr. Hansen, a leading expert on climate change, said in an interview that there was no "magic number" that showed when the greenhouse effect was actually starting to cause changes in climate and weather. But he added, "It is time to stop waffling so much and say that the evidence is pretty strong that the greenhouse effect is here."

If Dr. Hansen and other scientists are correct, then humans, by burning of fossil fuels and other activities, have altered the global climate in a manner that will affect life on earth for centuries to come.

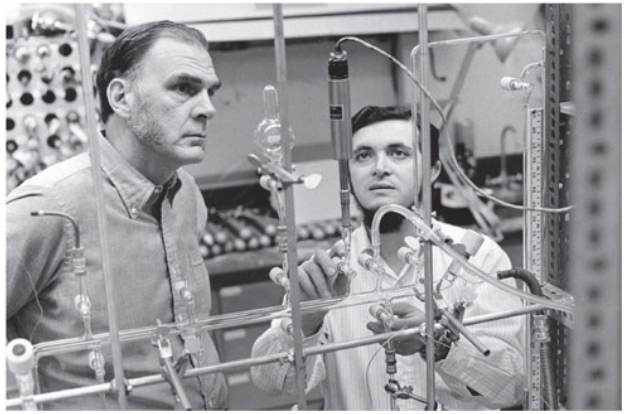
Dr. Hansen, director of NASA's Institute for Space Studies in Manhattan, testified before the Senate Energy and Natural Resources Committee.

Some Dispute Link

He and other scientists testifying before the Senate panel today said that projections of the climate change that is now apparently occurring mean that the Southeastern and Midwestern sections of the United States will be subject to frequent episodes of very high temperatures and drought in the next decade and beyond. But they cautioned that it was not possible to attribute a specific heat wave to the greenhouse effect, given the still limited state of

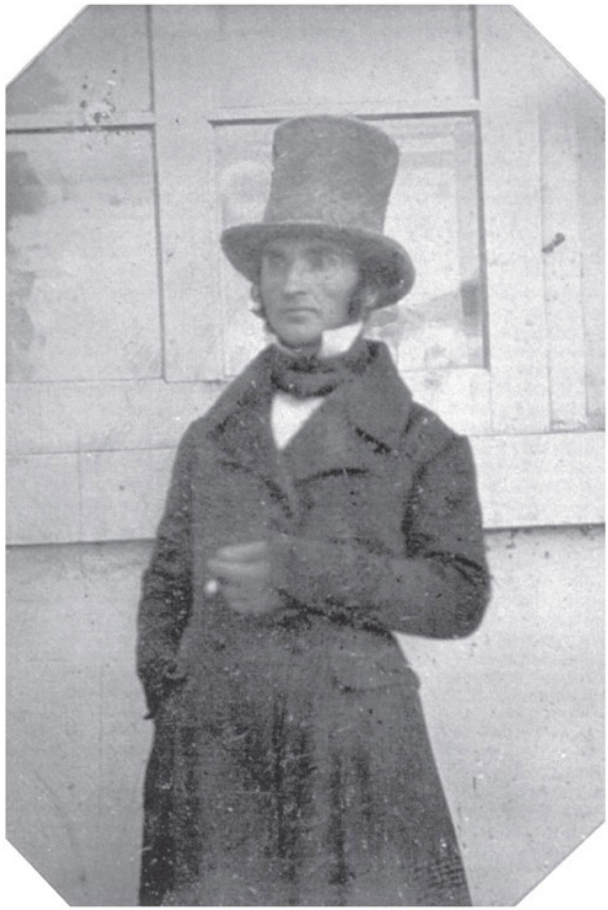
Continued on Page A14, Column 3

El cambio climático en el *New York Times*, 24 de junio de 1988.
Album.



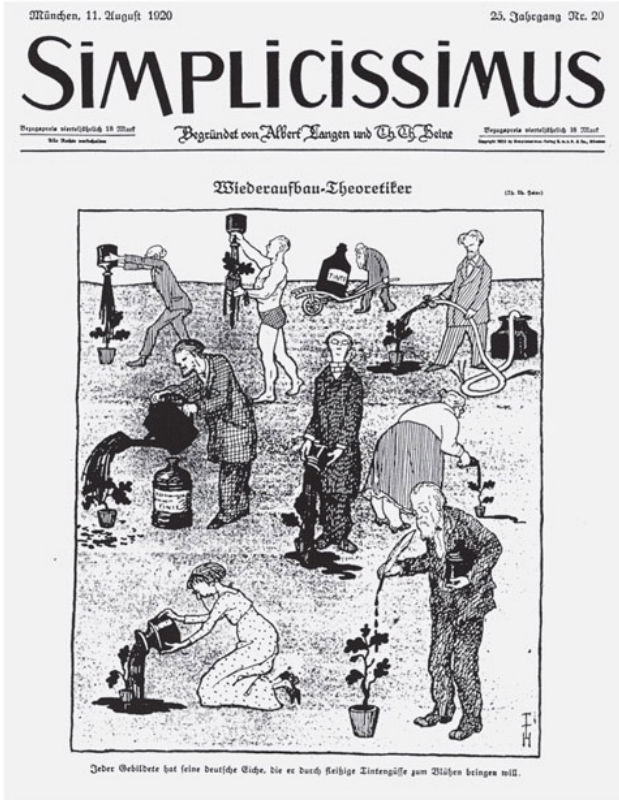
Sherwood Rowland y Mario Molina en 1975.
Album.

Rachel Carson.
© / Science Source / New York Public Library / Album.

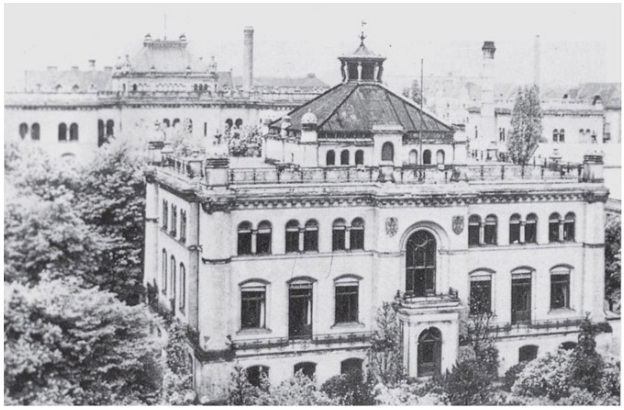


Justus von Liebig. Daguerrotipo de Carl Reisser (Giessen, 1843).

La química de Liebig y la alimentación. Cartel de propaganda.



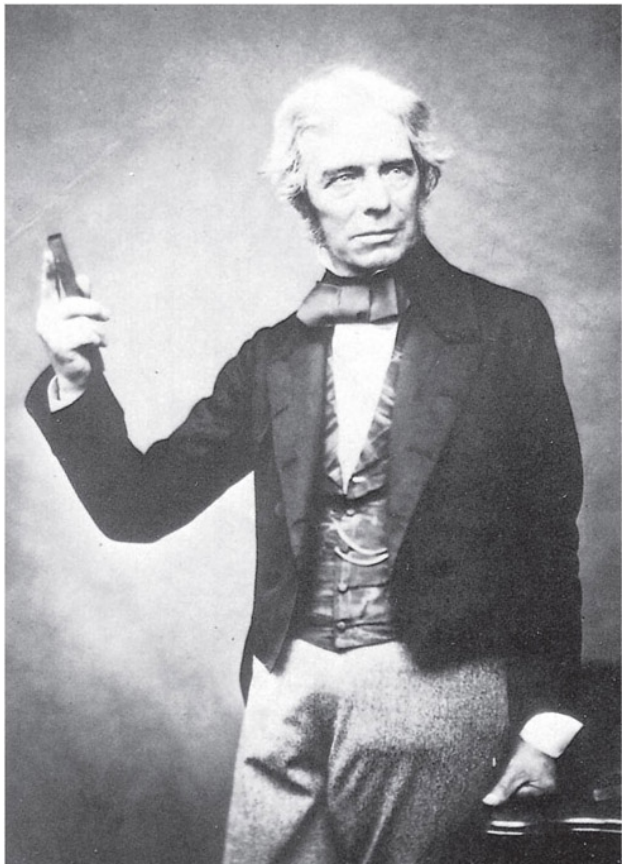
Los tintes vistos por la revista satírica alemana *Simplicissimus* (11 de agosto de 1920).



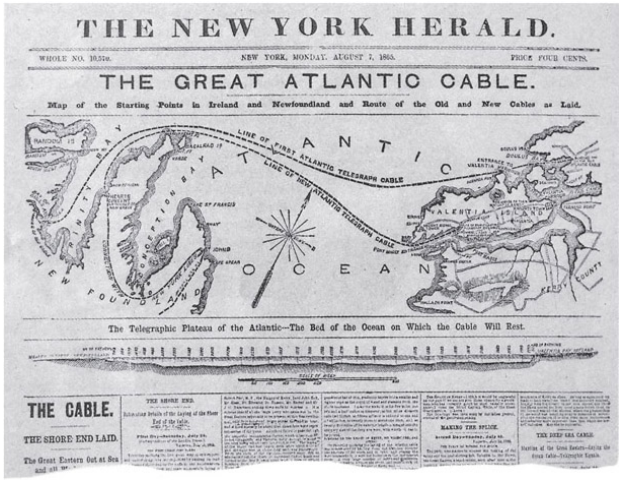
Primeros edificios del Physikalisch-Technische-Reichsanstadt.

El káiser Guillermo II, acompañado de Emil Fischer, Fritz Haber y Adolf von Harnack, inaugura el Instituto Kaiser-Wilhelm de Electroquímica (23 de octubre de 1923).

Instituto de Física Kaiser-Wilhelm en 1937. La torre de la izquierda contiene el acelerador de alta tensión.



Michael Faraday.



THE NEW YORK HERALD.

WHOLE NO. 10,52o. NEW YORK, MONDAY, AUGUST 7, 1865. PRICE FOUR CENTS.

THE GREAT ATLANTIC CABLE.

Map of the Starting Points in Ireland and Newfoundland and Route of the Old and New Cables as Laid.

LINE OF FIRST ATLANTIC TELEGRAPH CABLE

LINE OF 1865 ATLANTIC TELEGRAPH CABLE

ATLANTIC OCEAN

NEW FOUNDLAND

VALENTIA ISLAND

The Telegraphic Plateau of the Atlantic—The Bed of the Ocean on Which the Cable Will Rest.

THE CABLE.

THE SHORE END LAID.

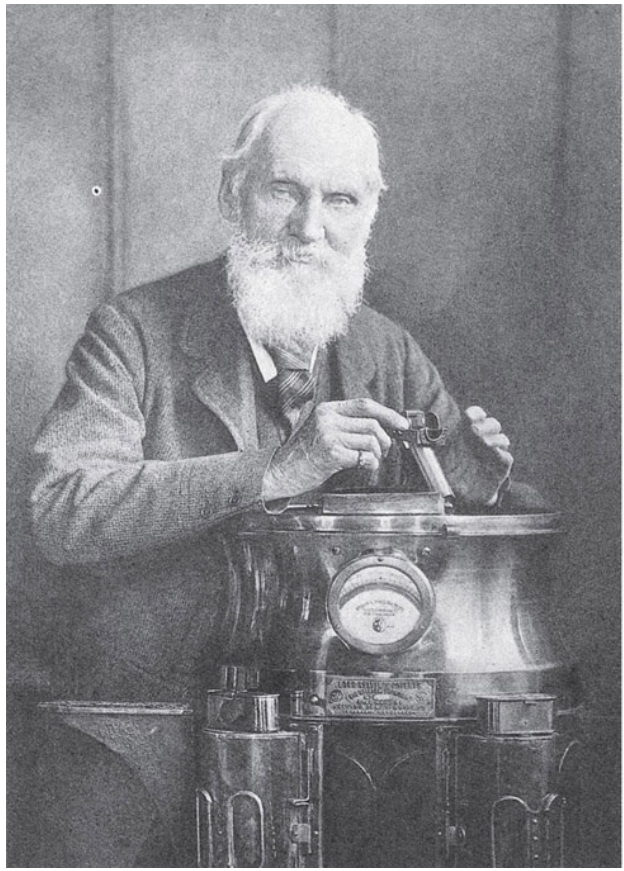
The Great Eastern Out at Sea

THE SHORE END.

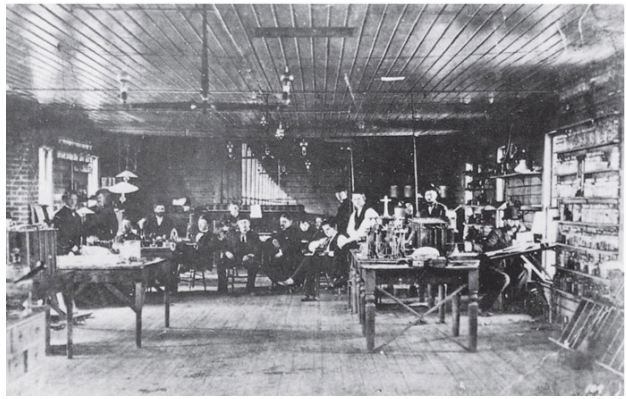
MAKING THE SPLICE.

THE DEEP SEA CABLE.

Los cables submarinos atlánticos, objeto de interés popular

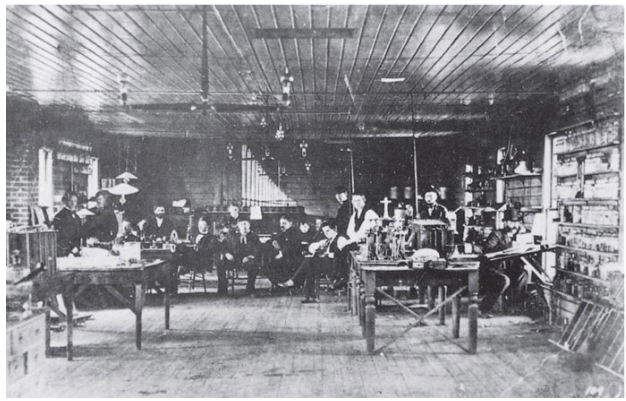


Lord Kelvin con la brújula náutica que desarrolló (1902).

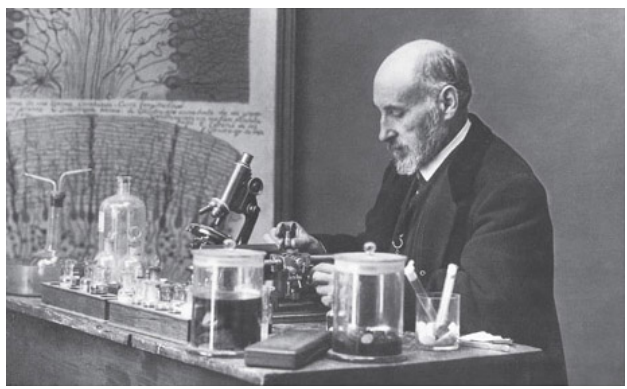


Sala del laboratorio de Thomas A. Edison (en el centro con

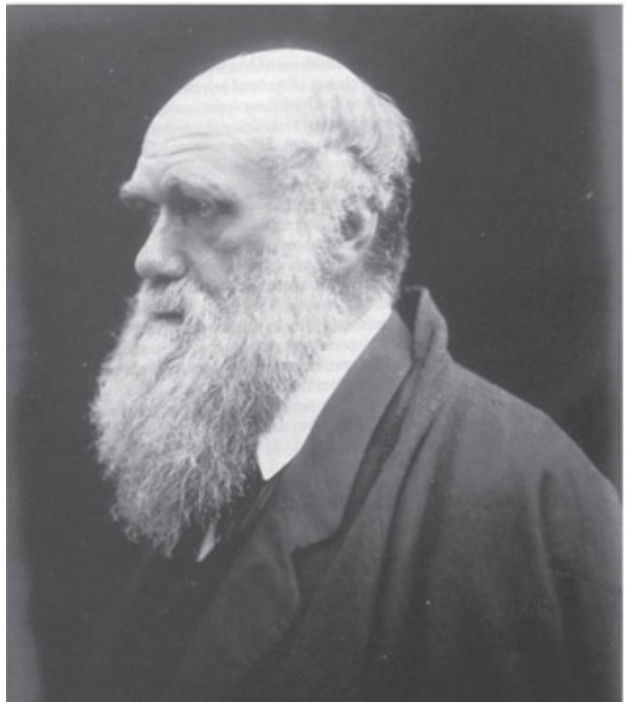
sombrero), en Menlo Park (20 de febrero de 1880).



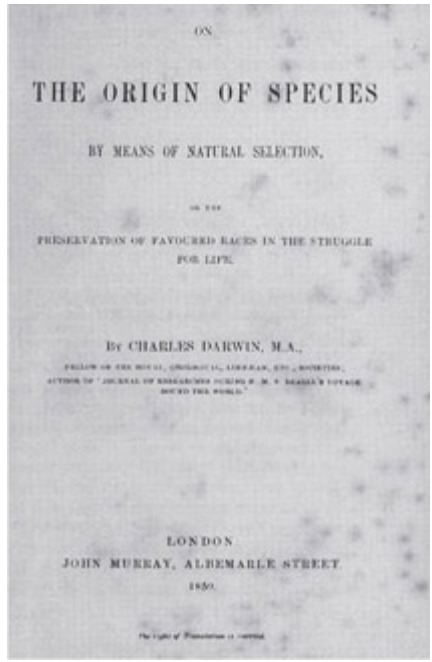
Vista del interior de una estación receptora de la Compañía de telegrafía sin hilos en Towyn, North Wales, c. 1920.



Santiago Ramón y Cajal.
Fotografía de Alfonso; Archivo General de la Administración, Alcalá de Henares.



Charles Darwin.



ON

THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE

PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE FOR LIFE.

By CHARLES DARWIN, M.A.,

FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNEAN, ETC., SOCIETIES;
AUTHOR OF 'JOURNAL OF RESEARCHES DURING H.M.S. BEAGLE'S VOYAGE ROUND THE WORLD.'

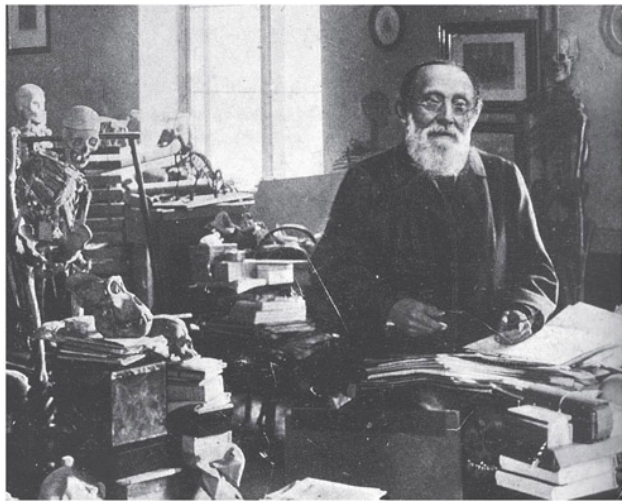
LONDON:
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.
1859.

Portada de la primera edición de *Sobre el origen de las especies*.

Darwin. Caricatura de la época.

Caricatura de Thomas Huxley.

Claude Bernard en una demostración. Cuadro pintado por Louis Lhermite en 1899 (Palais de la Découverte, París).



Rudolf Virchow, fotografiado en su estudio.

Louis Pasteur fotografiado en 1880.

«El buen Pasteur». Caricatura de sus trabajos sobre el carbunco, aparecida en *Le Ovnirari* el 27 de abril de 1882.

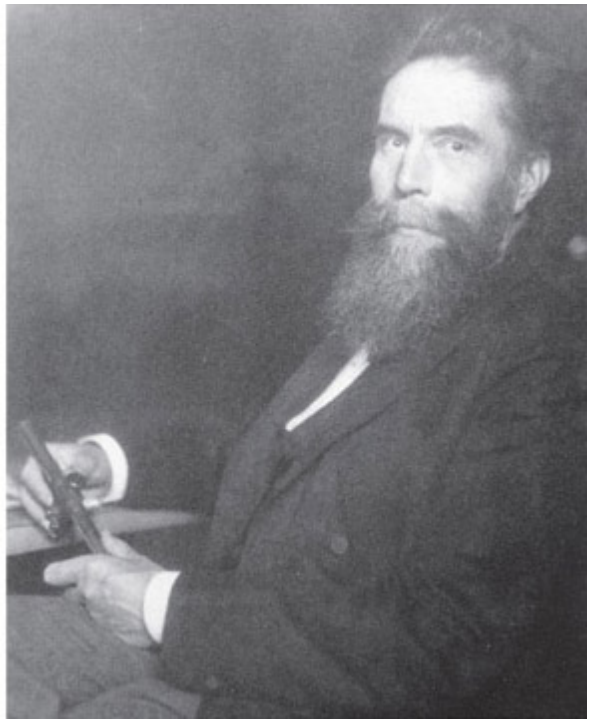
Robert Koch.

«Koch enseña a las bacterias el cultivo puro» (Lustige Blätter, c. 1900).

Grupo de mujeres computadoras dirigidas por Williamina Fleming (de pie), con el director del Harvard College Observatory, E. C. Pickering, mirando. Hacia 1890.
Cortesía del Harvard College Observatory

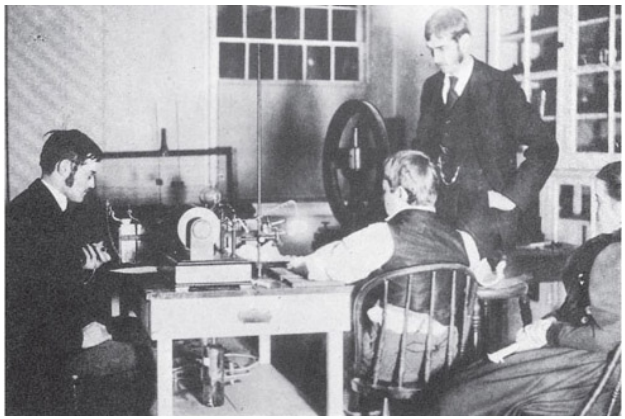
Un grupo de miembros del Harvard College Observatory, hacia 1917. De izquierda a derecha: Ida E. Woods, Evelyn F. Leland, Florence Cushman, Grace R. Brooks, Mary H. Vann, Henrietta S. Leavitt, Mollie E. O'Reilly, Mabel A. Gill, Alta M. Carpenter, Annie J. Cannon, Dorothy W. Block, Arville D. Walker, Frank E. Hinkley y Adward S. King.
Cortesía del Harvard College Observatory

Henrietta S. Leavitt.
Cortesía del Harvard College Observatory.

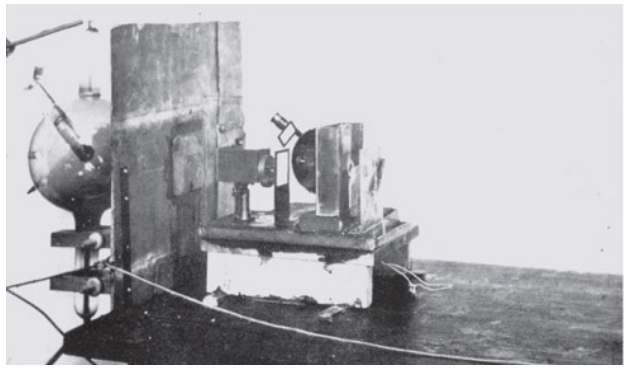


Wilhem Conrad Röntgen hacia 1906, cuando era director del Instituto de Física de la Universidad de Múnich.

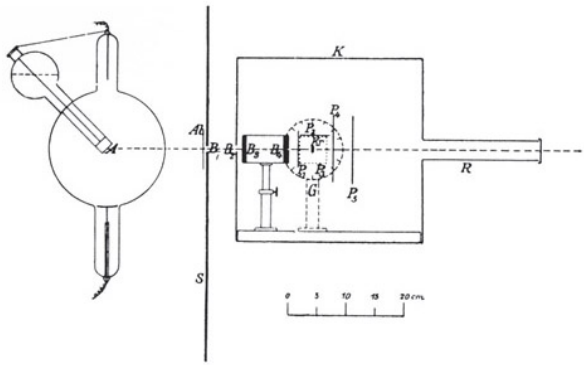
Radiografía de una mano de Lord Kelvin tomada durante una demostración en la Royal Society (6 de mayo de 1896).



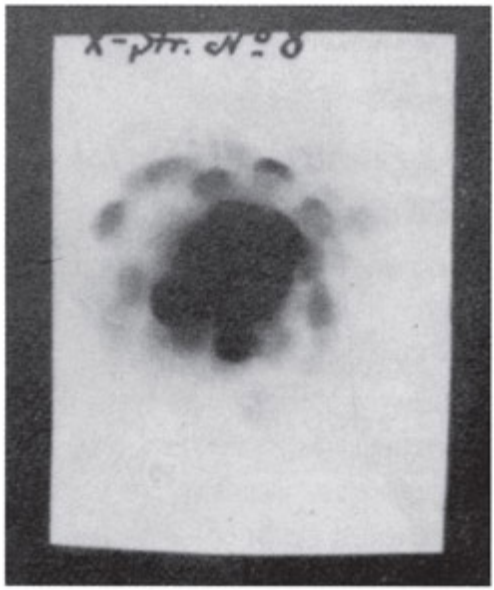
Una de las primeras aplicaciones de los rayos X a la medicina en Estados Unidos. Edwin Frost, del Dartmouth College, aplica rayos X al brazo fracturado de un paciente el 3 de febrero de 1896.



Dispositivo experimental de W. Friedrich y P. Knipping con el que se comprobaron las ideas sobre la difracción de rayos X de M. von Laue en abril de 1912.

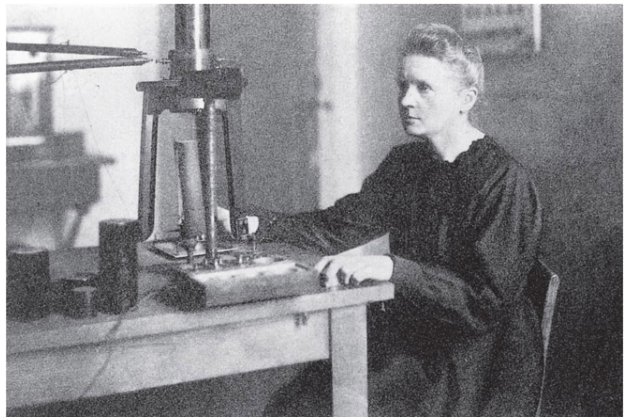


Esquema del dispositivo experimental utilizado por W. Friedrich y P. Knipping en su trabajo sobre la difracción de rayos X.



Placa original obtenida por W. Friedrich y P. Knipping.

J. J. Thomson.



Marie Curie en su laboratorio (1923).

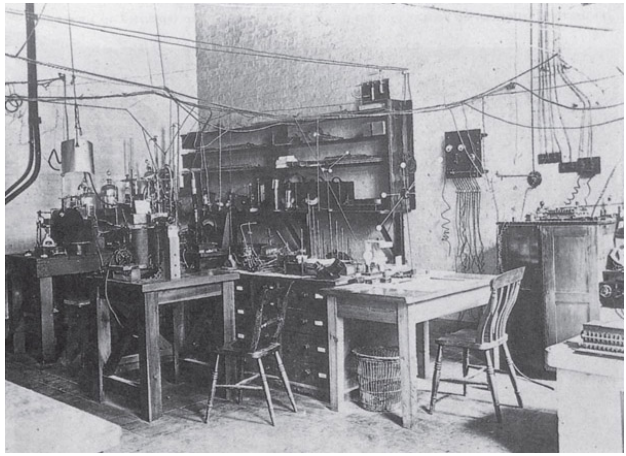
Marie e Irène Curie con militares estadounidenses a los que instruían en las técnicas radiológicas (París, 1919).

Max Planck.
Cortesía de la Niels Bohr Library del American Institute of Physics.

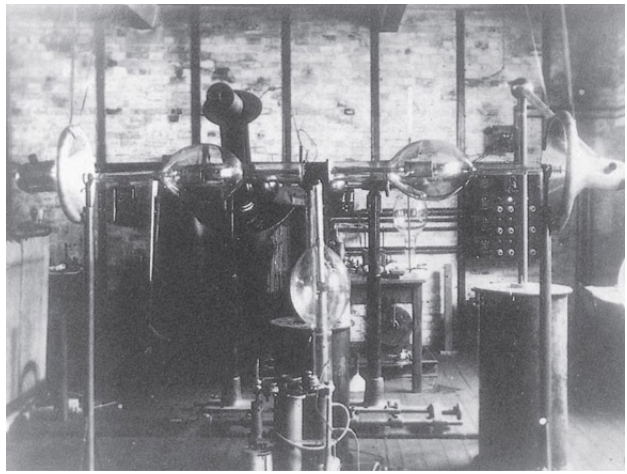
Participantes en el primer Congreso de Física Solvay, Bruselas, 1911.

Los físicos alemanes se reintegran a los Congresos Solvay, Bruselas, 1927.

E. T. S. Walton, E. Rutherford y J. Cockcroft.

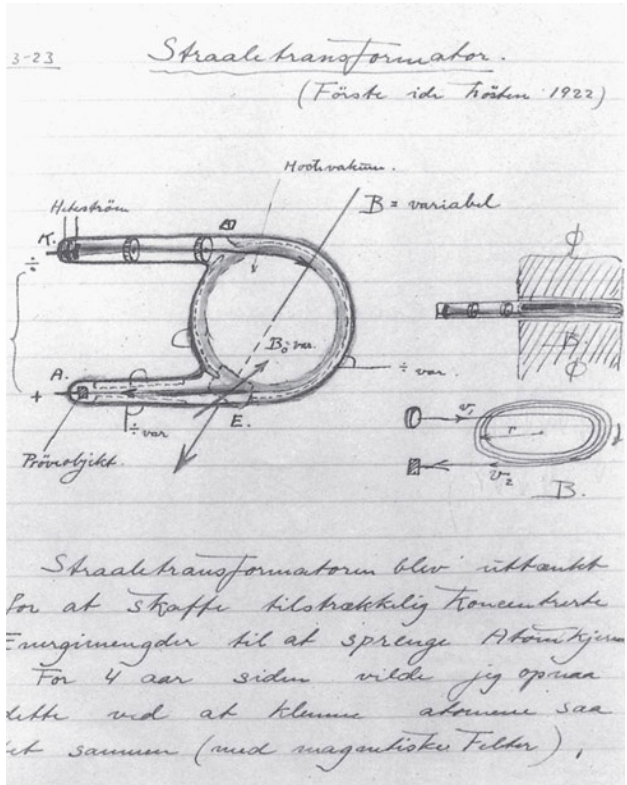


Laboratorio de E. Rutherford en el Cavendish a comienzos de la década de 1920.
Cortesía del National Museum of American History, Washington D. C.

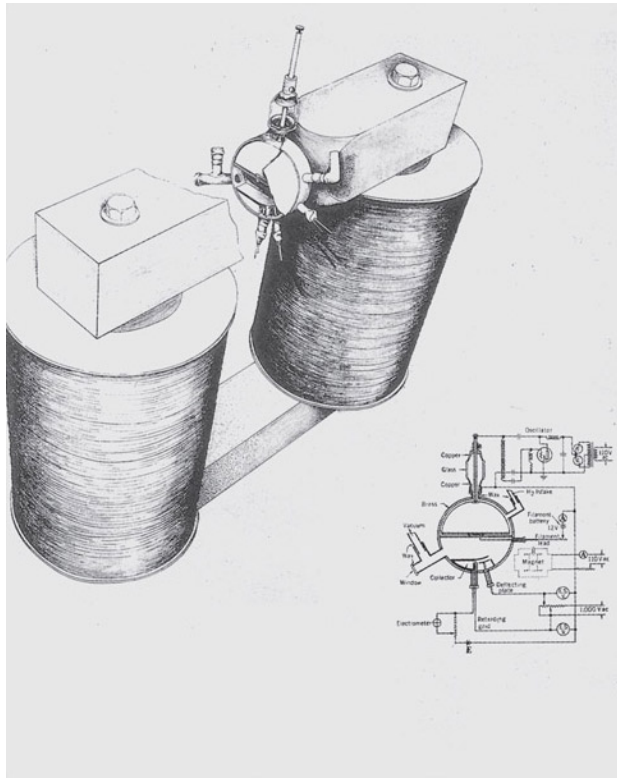


Acelerador de partículas de J. Cockcroft y E. T. S. Walton. Cortesía del National Museum of American History, Washington D. C.

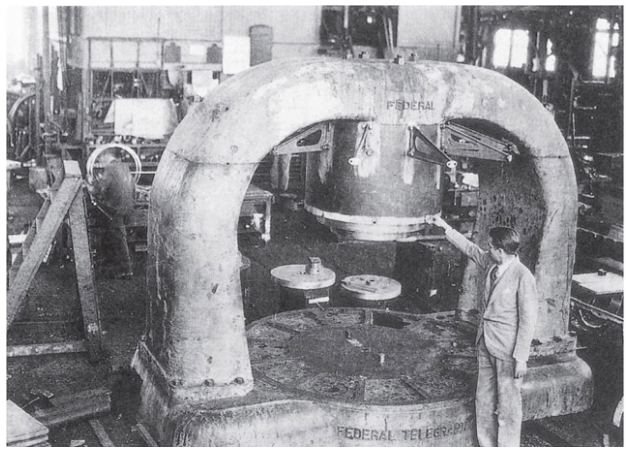
Guglielmo Marconi y Niels Bohr (Roma, 1931).



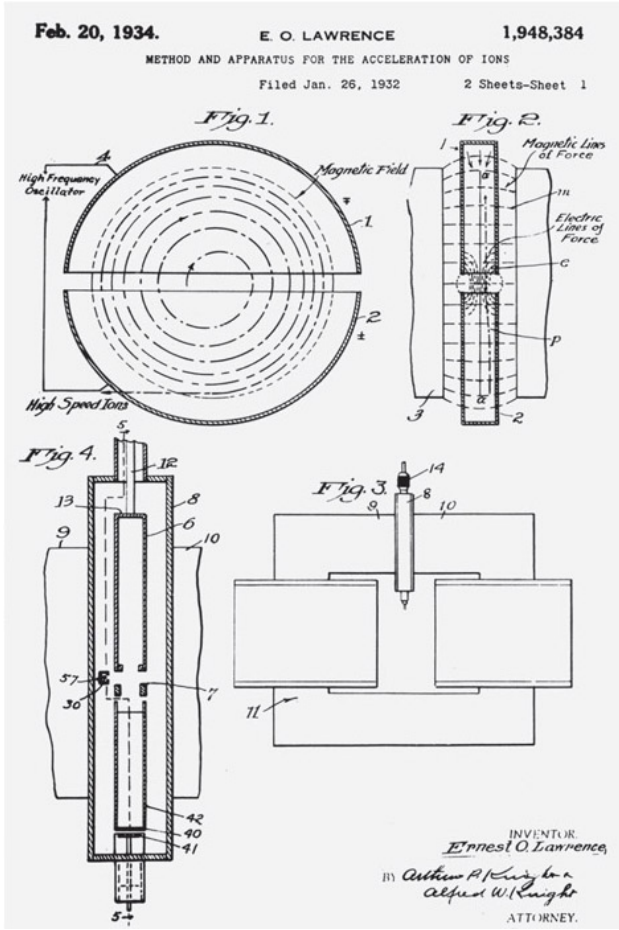
Libro de notas de Rolf Wideröe abierto por la página con la propuesta de un acelerador de inducción magnética (1923). Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



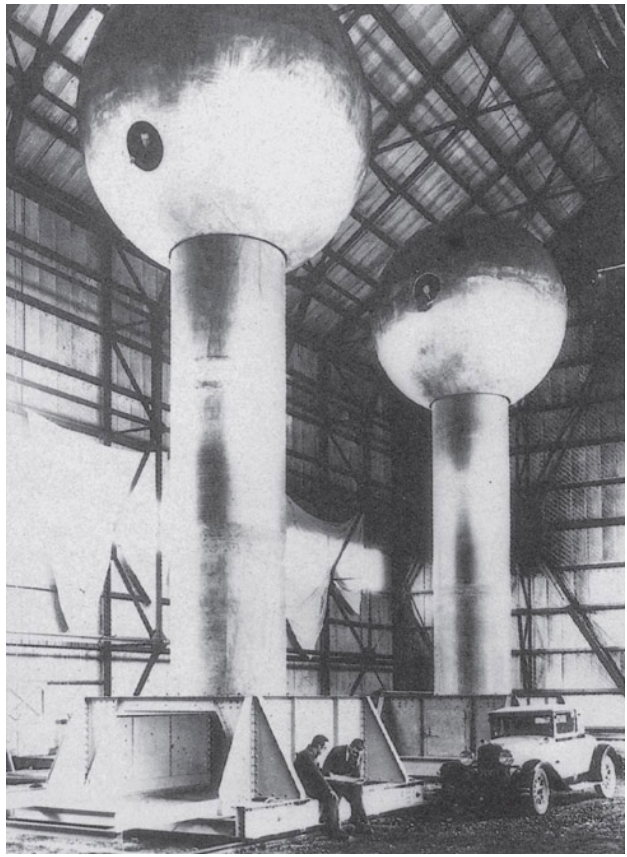
Representación artística del primer ciclotón. Electroimán + Ciclotrón de 19 cm.
Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



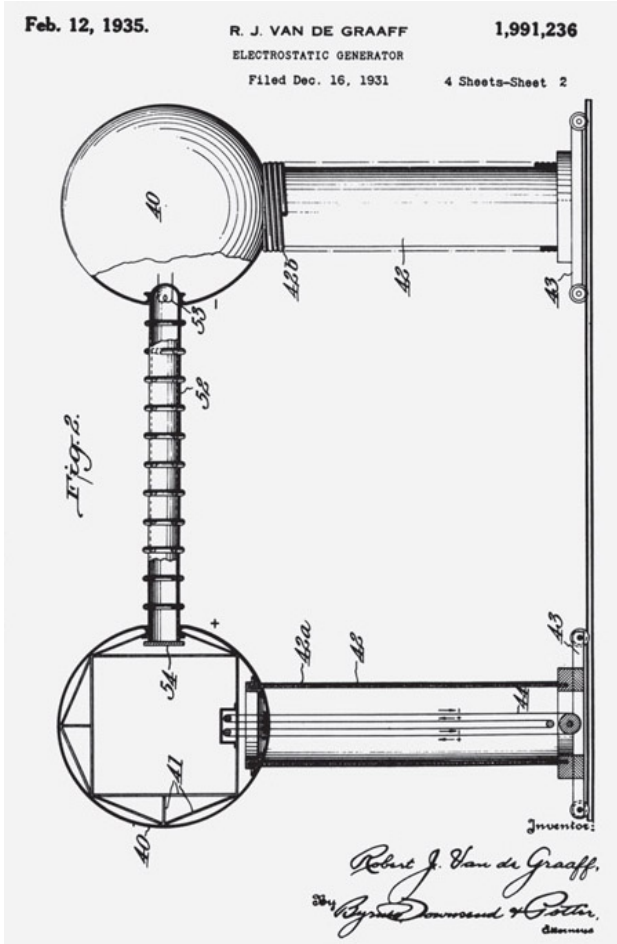
E. O. Lawrence inspeccionando uno de los imanes que se iban a instalar en uno de sus ciclotrones (1930).
Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



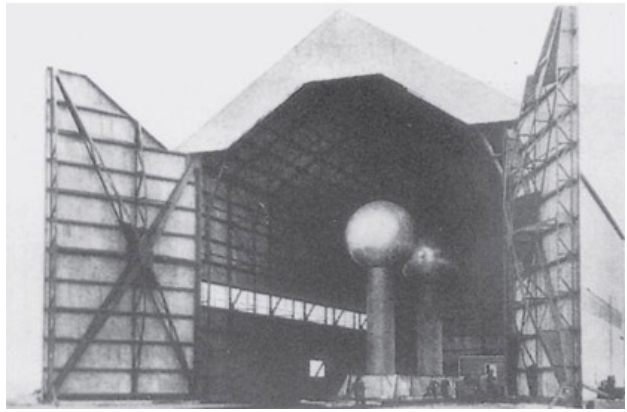
Patente obtenida por E. Lawrence de uno de sus ciclotrones (1932/1934).
Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



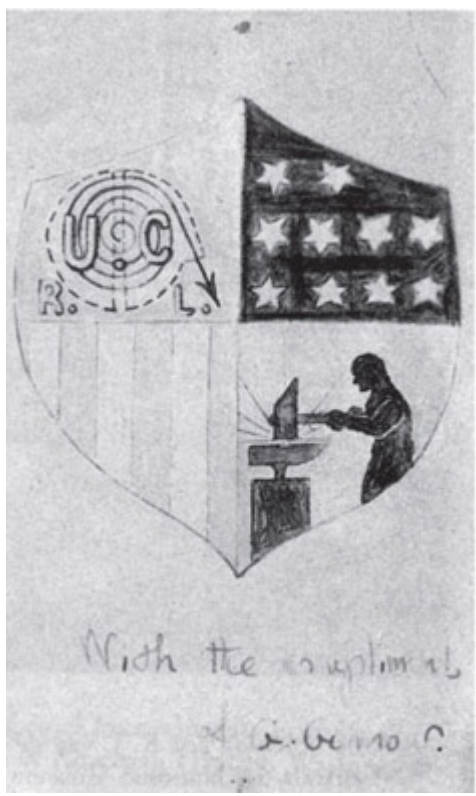
Gigantescos generadores de Van de Graaff en el Massachusetts Institute of Technology.
Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



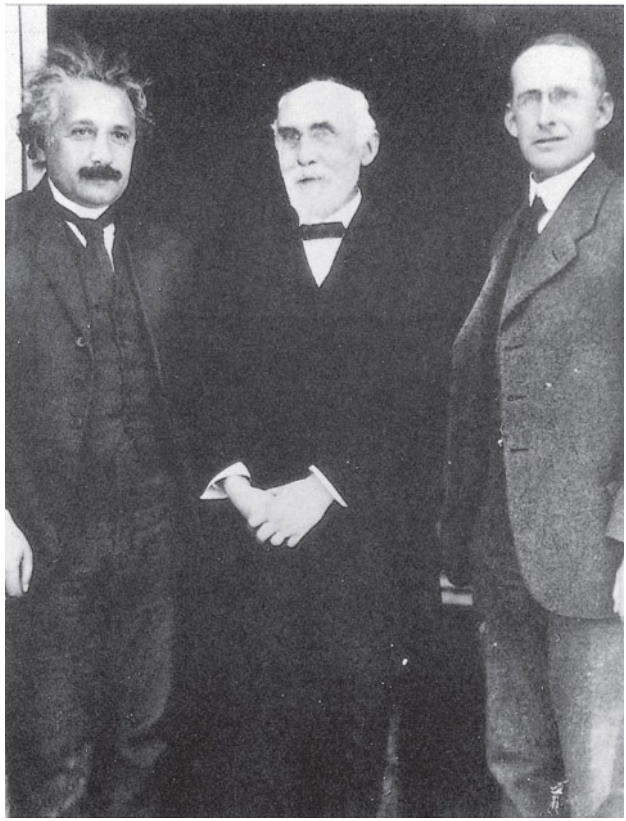
Patente obtenida por R. J. van de Graaff para su generador (1931/1935).
Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



El generador de Van de Graaff en *Newsweek* (9 de diciembre de 1933).

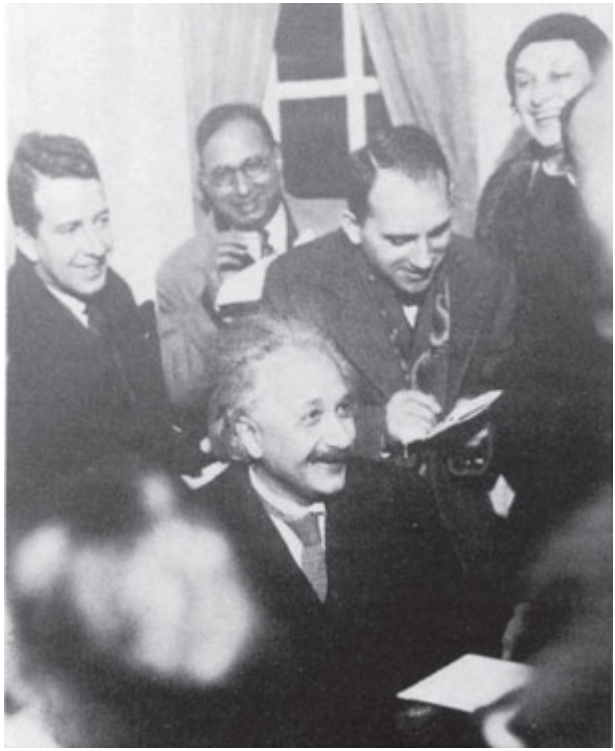


Modelo de George Gamow de un escudo de armas para E. O. Lawrence.



A. Einstein, H. A. Lorentz y A. S. Eddington en Leiden (26 de septiembre de 1923).

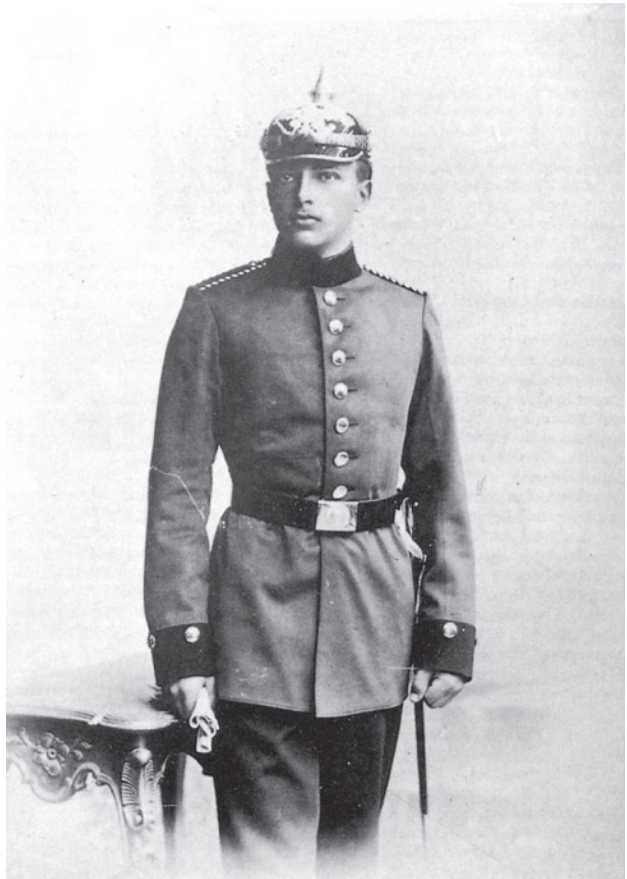
A. Einstein, celebridad mundial. Llegando en automóvil a Nueva York en 1921.



Con periodistas en Nueva York en 1930.

Despedida de James Franck de Berlín para ocupar una cátedra en Gotinga. De izda. a dcha.: sentado, Hertha Sponer, Albert Einstein, Ingrid Franck, James Franck, Lise Meitner, Fritz Haber y Otto Hahn; de pie, Walter Grotian, Wilhelm Westphal, Otto von Baeyer, Peter Pringsheim y Gustav Hertz.

Alfonso XIII, con Albert Einstein. José Rodríguez Carracido, Blas Cabrera, el ministro de Instrucción Pública y el embajador de Alemania (Madrid, Real Academia de Ciencias, marzo de 1923).

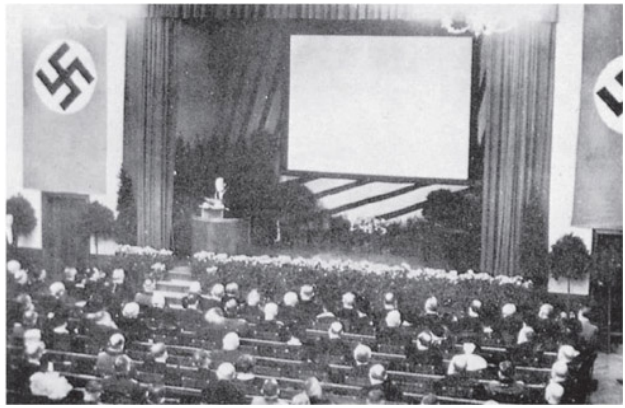


Max von Laue, oficial del ejército prusiano (1902).

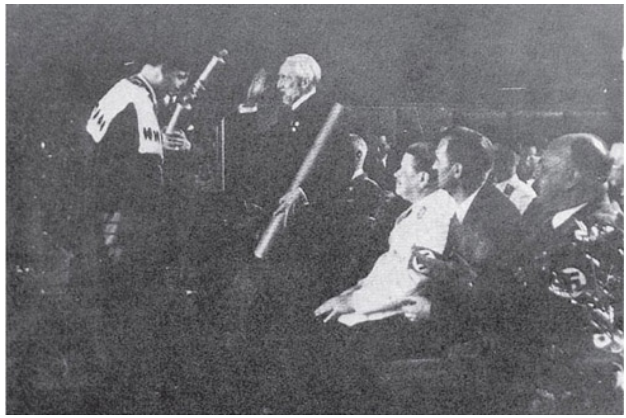
Fritz Haber visitando el frente oriental durante la Primera Guerra Mundial. Nótese la máscara antigas que lleva el militar situado de espalda.

Soldado alemán con máscara antigas. Los caballos también las llevan.

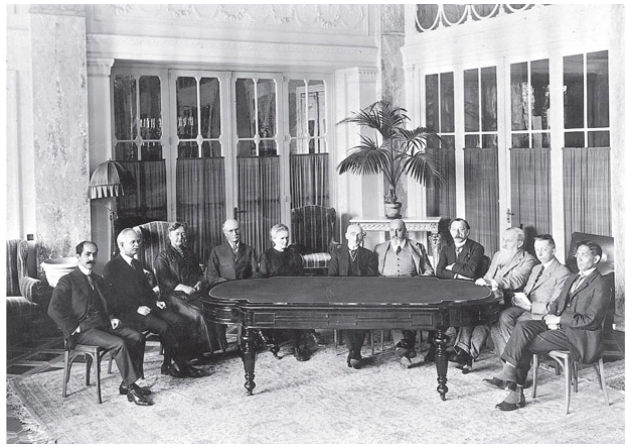
Asamblea electoral de la Ciencia alemana a favor de Adolf Hitler, el 11 de noviembre 1933 en Leipzig. Se reconoce en la mesa de la presidencia, completamente a la derecha, al cirujano Ferdinand Sauerbruch; y a la izquierda, el cuarto es el filósofo Martin Heidegger. En la asamblea participaron también, entre otros, el historiador de arte Wilhelm Pinder y el antropólogo Eugen Fischer.



Planck participando en los actos conmemorativos del 25 aniversario de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft, Berlín, 1936.



Philipp Lenard recibiendo un doctorado honorario en la Universidad de la ocupada Bratislava (Checoslovaquia), 7 de junio de 1942.



Reunión de la Comisión Internacional de Cooperación Intelectual (Ginebra, 1925). En el centro (de izquierda a derecha): Marie Curie, Henri Bergson y Leonardo Torres Quevedo.

Mod. N. 94

R. UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA

PROCESSO VERBALE

DI PRESTAZIONE DI GIURAMENTO

per parte del signor FERMI ENRICO

Professore di Fisica teorica

L'anno del Signore millenovecento trentuno (Anno X) addì ventitrè del mese di novembre alle ore dieci in Roma, e precisamente nella sala del Rettorato della R. Università, avanti di me sottoscritto Prof. on. Pietro de Francisci Rettore dell'Università stessa, ed alla presenza dei Signori:

Dott. Ettore Trippitelli - 1° Segretario

Dott. Carlo Alberto Petraglia

quali testimoni espressamente richiesti;

si è personalmente costituito il sig. Prof. Fermi Enrico

figlio di Alberto nato a Roma

nominato professore di Fisica teorica

con decreto del 1 gennaio 1927 attualmente Professsore presso la R. Università di Roma, ed ha prestato giuramento nei seguenti termini:

« Io Enrico Fermi giuro di essere fedele al Re, ai suoi Reali successori e al Regime Fascista, di osservare lealmente lo Statuto e le altri leggi dello Stato, di esercitare l'ufficio d'insegnante e adempiere tutti i doveri accademici col proposito di formare cittadini operosi, probi e devoti alla Patria ed al Regime Fascista.

« Giuro che non appartengo nè apparterrò ad associazioni o partiti la cui attività non si concilii coi doveri del mio ufficio ».

Del quale giuramento io sottoscritto Rettore della R. Università ho dato e do atto per mezzo del presente processo verbale che, letto ed approvato, viene sottoscritto da tutti gli intervenuti.

Il Professore

Enrico Fermi

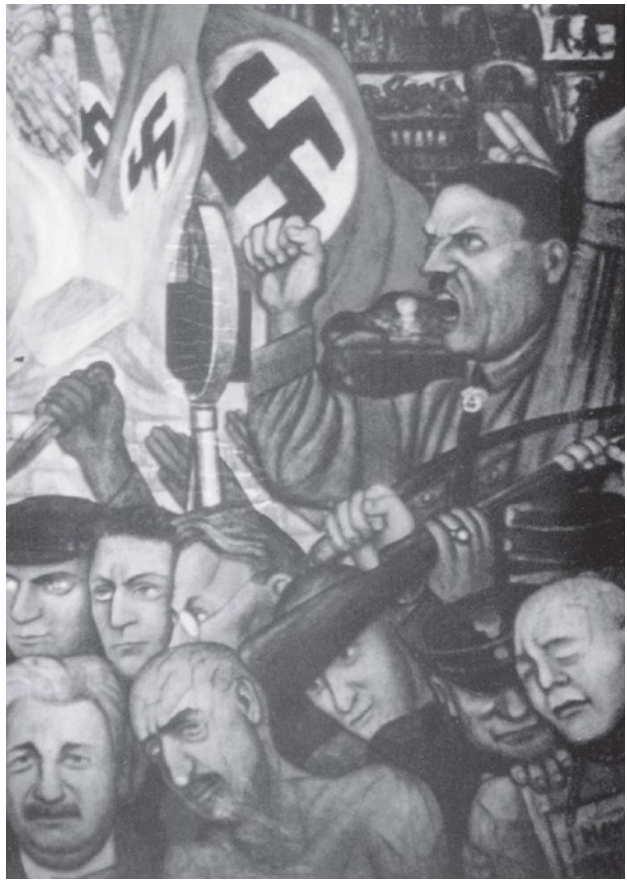
I testimoni

Carlo Alberto Petraglia

IL RETTORE

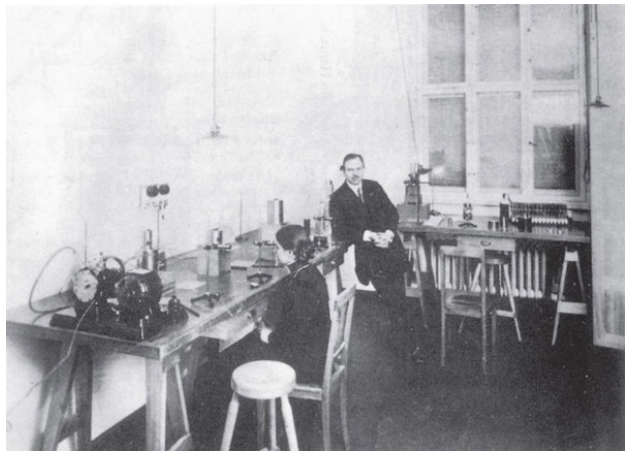
Pietro de Francisci

Acta del juramento al régimen de Mussolini de E. Fermi (1931).

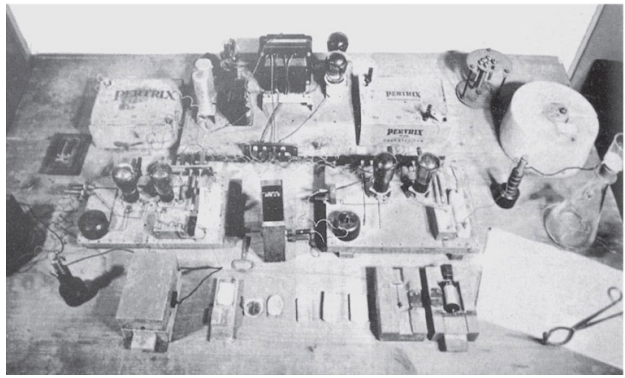


«El exilio de intelectuales alemanes». Fresco de Diego Rivera (A. Einstein aparece abajo a la izquierda).

El general Franco en la sede central del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid 31 de enero de 1948). A la derecha José M.ª Albareda y a la derecha de Franco el ministro José Ibáñez Martín.



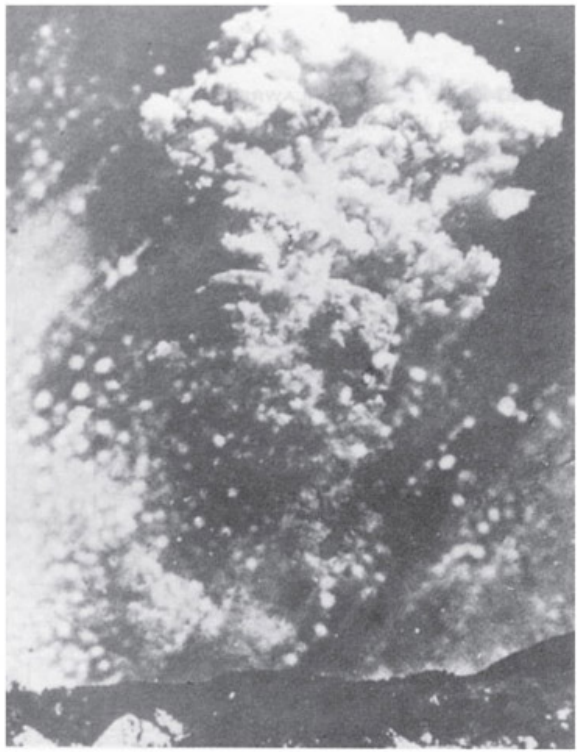
Lise Meitner y Otto Hahn en su laboratorio del nuevo Instituto de Química Kaiser-Wilhelm (1912-1914).



Mesa de trabajo de O. Hahn y F. Strassmann. Con este dispositivo experimental se descubrió la fisión del uranio en 1938.

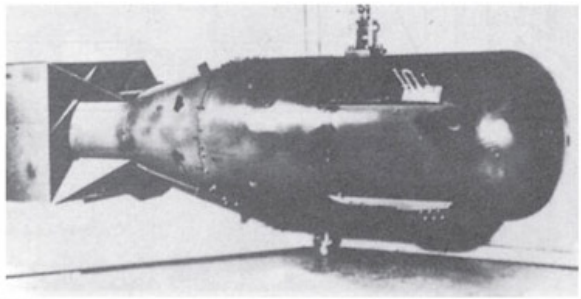
Conferencia sobre física nuclear en Estocolmo (junio de 1936). En la fotografía aparecen: W. Pauli, P. Jordan, W. Heisenberg, M. Born, L. Meitner, O. Stern y J. Franck (primera fila). N. Bohr se encuentra de pie a la izquierda.

Albert Einstein y Leo Szilard estudiando la redacción de la célebre carta al presidente Roosevelt (1939).

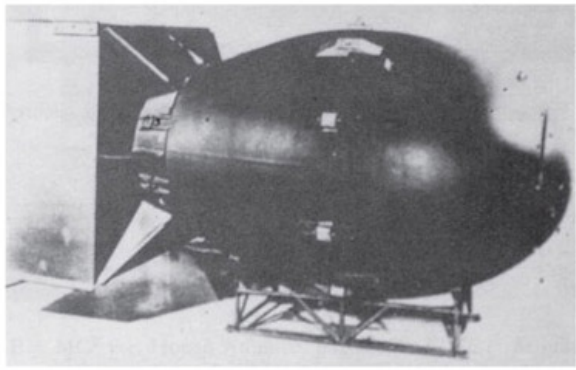


a

b

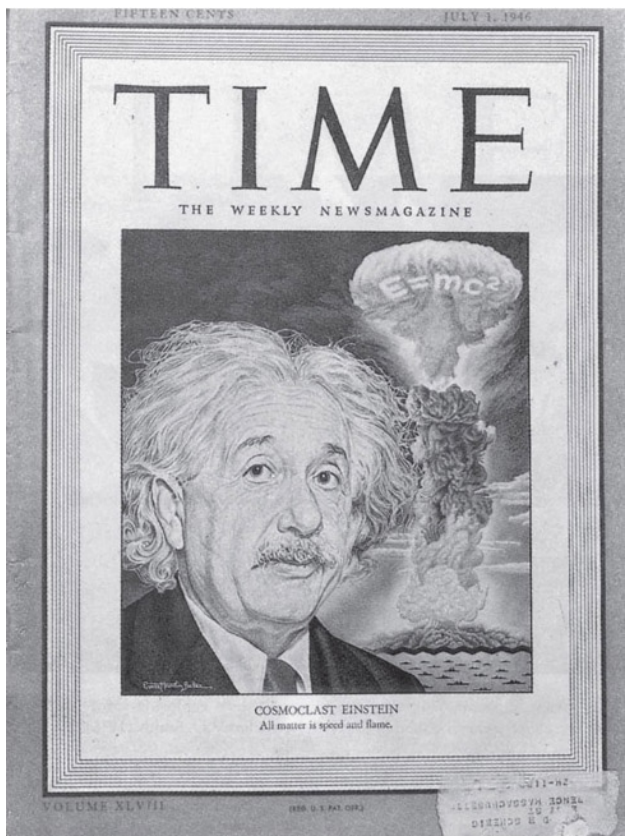


c



d

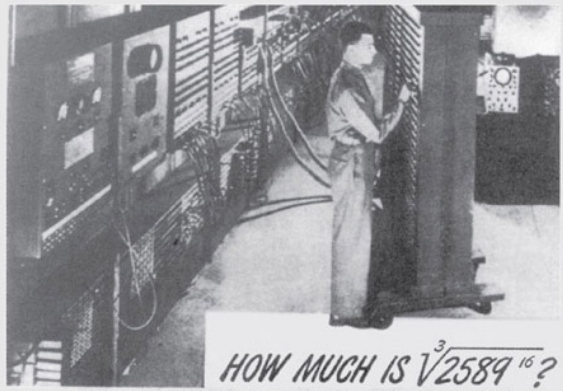
Hongo atómico de (a) Hiroshima; (b) Nagasaki; (c) Bomba de uranio lanzada sobre Hiroshima («Little Boy»); (d) Bomba de plutonio lanzada sobre Nagasaki («Fat Man»).



Einstein, E = mc2 y el hongo atómico, portada de *TIME* (1 de julio de 1946).

Robert Oppenheimer analizando una fotografía de la explosión sobre Nagasaki con el general Kenneth D. Nichols y Henry D. Smith (1946).

Oppenheimer, un riesgo para la seguridad nacional (14 de junio de 1954).



HOW MUCH IS $\sqrt[3]{2589^{16}}$?

The Army's ENIAC can give you the answer in a fraction of a second!

Think that's a stumper? You should see *some* of the ENIAC's problems! Brain twisters that if put to paper would run off this page and feet beyond . . . addition, subtraction, multiplication, division—square root, cube root, any root. Solved by an incredibly complex system of circuits operating 18,000 electronic tubes and tipping the scales at 30 tons!

The ENIAC is symbolic of many amazing Army devices with a brilliant future for you! The new Regular Army needs men with aptitude for scientific work, and as one of the first trained in the post-war era, you stand to get in on the ground floor of important jobs which have never before existed. You'll find that an Army career pays off.

The most attractive fields are filling quickly. Get into the swim while the getting's good! 1½, 2 and 3 year enlistments are open in the Regular Army to ambitious young men 18 to 34 (17 with parents' consent) who are otherwise qualified. If you enlist for 3 years, you may choose your own branch of the service, of those still open. Get full details at your nearest Army Recruiting Station.

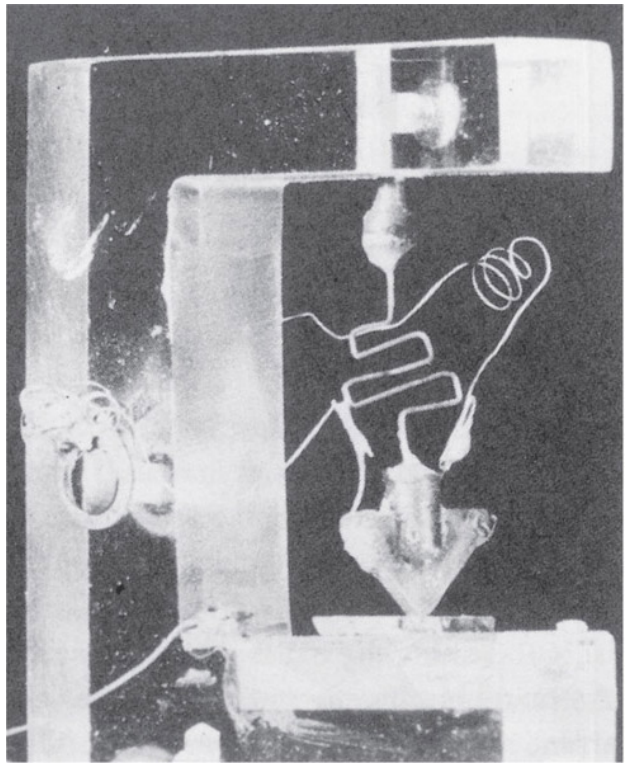
YOUR REGULAR ARMY SERVES THE NATION AND MANKIND IN WAR AND PEACE

A GOOD JOB FOR YOU

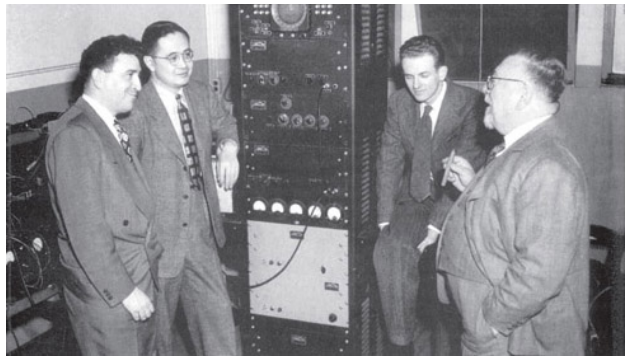
U. S. Army

CHOOSE THIS FINE PROFESSION NOW!

Cartel anunciando el computador ENIAC.



El primer transistor de contacto.

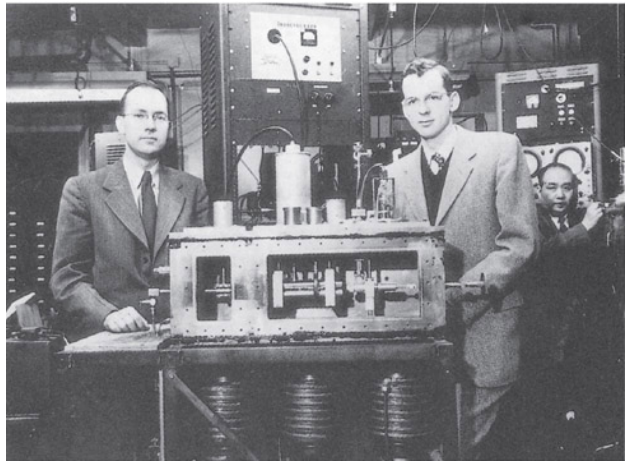


Norbert Wiener (a la derecha) en el laboratorio de Investigación Electrónica del Massachusetts Institute of Technology.

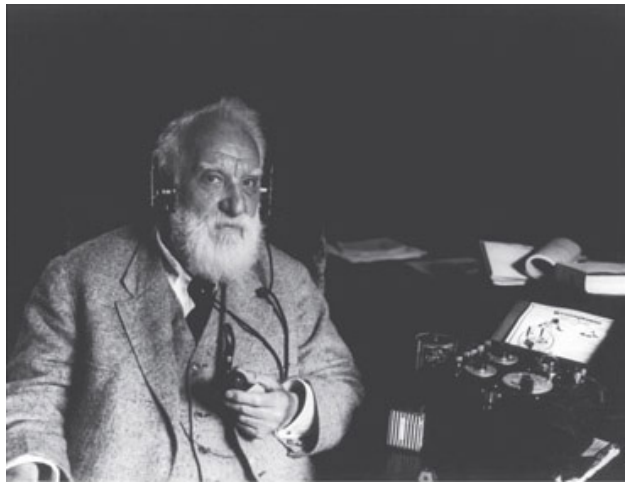
Hugh Dryen, Ludwig Prandtl, Theodore van Kármán y Hsue-shen, en Alemania (1945).

I. V. Kurchatov y A. Ioffe.

El presidente Eisenhower impone la Medalla de la Libertad a John von Neumann (16 de febrero de 1956).



Charles Townes, James P. Gordon y Tic Wang delante del primer máser de amoníaco. El segundo máser de amoníaco aparece en primer término. Fotografía tomada problablemente en 1955 en la Universidad de Columbia.
Cortesía del National Museum of American History, Washington, D. C.



Graham Bell.
© LOC / Science Source / Album.

Guglielmo Marconi.
© / Universal Images Group / Universal History Archive / Album.

George Boole.
© / Granger, NYC / Album.

Alan Turing.

© / Fine Art Images / Album.

Claude Shannon.
© / Science Source / Alcatel-Lucent / Bell Labs / Album.

Jack Kilby y Robert Noyce.
© / Granger, NYC / Album.

Alexander Fleming.
© / Universal Images Group / Underwood Archives / UIG / Album.

Notas

1. Ronald Fraser, *Escondido. El calvario de Manuel Cortés* (Crítica, Barcelona 2006), p. 139.

2. Gabriel Tortella, «Historia, ciencia, economía y poder», *Revista de Occidente*, n.° 141 (febrero de 1993), pp. 147-155; p. 155. Aprovecho para recordar, y agradecer, la participación en aquella presentación de Pedro Laín Entralgo y Cayetano López, que con su presencia y palabras me dieron una muestra más de su amistad. Don Pedro también publicó una reseña de mi libro: «Saber es poder», *Saber/Leer*, n.o 61 (enero de 1993), p. 3.

3. Miguel Artola, *La burguesía revolucionaria (1808-1874)* (Alianza Editorial, Madrid 1990), p. 12. Otro lugar en el que Artola ha tratado acerca del poder es en su reciente *Constitucionalismo en la historia* (Crítica, Barcelona 2005), véanse, por ejemplo, las páginas 105-112.

1. Eduardo García de Enterría, *Revolución francesa y administración contemporánea* (Civitas, Madrid 2005; primera edición en francés de 1993 y en español de 1994), pp. 62-63.

2. En este punto, García de Enterría continuaba citando lo que Tocqueville escribió en 1840: «También fue Tocqueville el primero en formularla, aunque luego se haya hecho tópica: “Hemos podido ver por nosotros mismos en Francia, desde 1789, varias revoluciones que han cambiado de arriba abajo toda la estructura del gobierno. La mayor parte han sido golpes súbitos, realizados por la fuerza, en violación abierta de las leyes existentes. Sin embargo, el desorden que han producido, no ha sido jamás ni duradero, ni general; apenas han pesado sobre la mayor parte de la nación y en ocasiones casi ni se han percibido. *Es que desde 1789 la Constitución administrativa ha permanecido siempre en pie entre las ruinas de las constituciones políticas*. Se cambiará la persona del príncipe o las formas del poder central, pero el curso diario de los negocios no era ni interrumpido ni alterado”».

3. François René de Chateaubriand, *Memorias de ultratumba (libros i-xxiv)* (El Acantilado, Barcelona 2004; edición original en francés de 1849), p. 285.

4. La Segunda Clase del Instituto estaba dedicada a «Lengua y literatura francesa», la Tercera a «Historia y literatura antiguas», y la Cuarta a «Bellas artes».

5. Ken Alder, *La medida de todas las cosas* (Taurus, Madrid 2003; edición original en inglés de 2002), p. 253.

6. Citado en Nicole y Jean Dhombres, *Naissance d'un nouveau pouvoir: sciences et savants en France (1793-1824)* (Éditions Payot, París 1989), p. 225.

7. Éric Sartori, *L'Empire des Sciences. Napoleón et ses savants* (Ellipses, París 2003), p. 10.

8. En 1801, Napoleón añadió un nuevo título a los que ya tenía: el de presidente de la Academia de Ciencias. Se convirtió, por consiguiente, en el soberano de la nación y en el de la ciencia francesa. Su primera tarea como presidente fue reorganizar la Academia, nombrando para ello a Delambre secretario perpetuo.

9. Citada en François Arago, *Histoire de ma jeunesse*, *Oeuvres completes*, J. A. Barral, ed. (Gide y Baudry, París 1854), vol. I, p. 250.

10. En el «Anexo 14» de N. y J. Dhombres, *Naissance d'un nouveau pouvoir*, *op. cit.*, pp. 844-845, se indican algunas de las obras científicas que se encontraron en la biblioteca personal de Napoleón en Santa Elena.

11. Conde de Las Cases, *Memorial de Napoleón en Santa Elena* (Fondo de Cultura Económica, México 2003), p. 264.

12. *Ibid.*, p. 131.

13. Pierre-Simon Laplace, *Ensayo filosófico de las probabilidades* (Alianza Editorial, Madrid 1985), pp. 25-28.

14. Siguiendo el encargo de la Academia, Méchain tenía que medir el arco del sector sur (esto es, hacia Barcelona), mientras que Delambre debía hacer lo propio con el norte (hacia Dunkerke). Siete largos años duraron sus esfuerzos.

15. He aquí lo que ha señalado al respecto Ken Alder: «En una ocasión en que inspeccionaba una fábrica de pólvora en Essonnes, le preguntó al director de la planta por los procesos químicos con una minuciosidad considerable. Pero cada vez que el director le decía un peso en kilogramos, Napoleón insistía en que le tradujese la fórmula a *poids de marc* (libras antiguas). Decía que no podía pensar en las nuevas unidades». K. Alder, *La medida de todas las cosas*, *op. cit.*, p. 278.

16. F. Arago, *Histoire de ma jeunesse*, *op. cit.*, p. 94.

17. La École Polytechnique fue un producto de la Revolución. Fundada en diciembre de 1794, inauguró una nueva era en la educación superior técnica francesa, incorporando en un grado antes no conocido la enseñanza de la matemática y las ciencias básicas. Sus predecesores fueron dos escuelas de ingeniería del *ancien régime*, la École Royale du Genie y la École de Ponts et Chaussées. La mayoría de los matemáticos y científicos galos más destacados del siglo XIX estudiaron en ella.

18. Citado en N. y J. Dhombres, *Naissance d'un nouveau pouvoir*, *op. cit.*, p. 417.

19. Napoleón a Oriani, 24 de mayo de 1796, en Napoleón, *Correspóndance de Napoléon* (Plon-Dumaine, París 1858-1869), 32 vols., vol. I, pp. 491-492; citado en K. Alder, *La medida de todas las cosas op. cit.*, p. 191.

20. Dolomieu es una localidad francesa de Isère. Déodat de Gratet nació en su castillo.

21. Sobre la expedición, véase, por ejemplo, Robert Solé, *La expedición Bonaparte* (Edhasa, Barcelona 2001; edición original en francés de 1998).

22. Citado en F. de R. Chateaubriand, *Memorias de ultratumba*, *op. cit.*, p. 938.

23. En esta obra, Fourier estudió el problema de la conducción del calor bajo varias condiciones de contorno, tarea en la que utilizaba de manera sistemática series trigonométricas e integrales que, en honor suyo, sus seguidores bautizaron como «series» o «integrales de Fourier». Se trata de unas técnicas matemáticas que constituyen instrumentos preciosos tanto para la física como para la ingeniería.

24. Hubo una segunda edición (de 2.000 ejemplares), más económica y manejable que la primera, que se publicó entre 1821 y 1829. Tenía veintiséis volúmenes en octavo de textos y once de láminas.

25. Charles Coulston Gillispie, *Science and Polity in France. The Revolutionary and Napoleonic Years* (Princeton University Press, Princeton 2004).

26. Véase «Apéndice II» de R. Solé, *La expedición Bonaparte*, *op. cit.*

27. Cada sección tenía doce miembros.

28. La presidencia se renovaba cada tres meses. Después de Monge fueron presidentes Bonaparte, Berthollet, Desgenettes, Nouet, el inventor y aeronauta Nicolas Conté, muy recordado por haber inventado el lápiz de grafito, y Champy.

29. N. y J. Dhombres, *Naissance d'un nouveau pouvoir*, *op. cit.*, pp. 145-148.

30. Durante la Revolución, Daubenton (miembro —con la ayuda de Buffon— de la Academia de Ciencias desde 1744) desempeñó un papel destacado en la reorganización del Jardin du Roi (fundado en 1635), y cuando en 1793 se estableció el Muséum National d'Histoire Naturelle fue elegido director por sus colegas.

31. Sobre esta agrupación, véase Maurice Crosland, *The Society of Arcueil: A View of French Science at the Time of Napoleon I* (Heinemann, Londres 1967).

32. *Mémoires de la Société d'Arcueil*, 1 (1807), pp. III-IV.

33. Alessandro Volta, «On the electricity excited by the mere contact of conducing substances of different kinds», *Philosophical Transactions of the Royal Society 90*, 403-431 (1800); *Philosophical Magazine 7*, 289-311 (1800).

34. *Ibid.*, pp. 289-291.

35. Los franceses cerraron la Universidad de Pavía y Volta perdió su empleo y salario.

36. Estos puntos se señalan en Giuliano Pancaldi, *Volta. Science and Culture in the Age of the Enlightenment* (Princeton University Press, Princeton 2003), pp. 170, 281.

37. *Curiosity Perfectly Satisfied. Faraday's Travels in Europe, 1813-1815*, Brian Bowers y Lenore Symons, eds. (Peter Peregrinus-The Science Museum, Londres 1991), p. 18.

38. *Correspóndance de Napoléon, op. cit.*, 32 vols.; vol. XI, p. 472. Citada en N. y J. Dhombres, p. 262.

39. Conde de Las Cases, *Memorial de Napoleón en Santa Elena*, *op. cit.*, pp. 693-694.

1. Zygmunt Bauman, *Modernidad y holocausto* (Sequitur, Madrid 1997), p. 94.

2. En inglés, la expresión fue creada por William Whewell (1794-1866), que ocupó cátedras de Mineralogía y de Filosofía Moral en la Universidad de Cambridge. En la «Introducción» del volumen primero de su imponente tratado *The Philosophy of the Inductive Sciences* (1840), Whewell escribió: «Necesitamos urgentemente un nombre para describir a un cultivador de la ciencia en general. Me inclino por llamarle un Científico [*Scientist*]». Es interesante recordar que a pesar de las limitaciones históricas que el ejercicio de la ciencia ha sufrido en España, el término «científico» aparecía también en el *Diccionario de Autoridades*, el primer diccionario publicado (en 1726, esto es, bastante antes que el libro de Whewell) por la Real Academia Española. Se define allí de la siguiente forma: «CIENTIFICO, CA. adj. Cosa perteneciente à ciencia. Tambien se llama assi la persóna consumada en algúna, ó en muchas ciencias»; antes se había definido «CIENCIA» como «Conocimiento-cierto de algúna cosa por sus cáusas, y principios»; *Diccionario de la lengua castellana, en que se explica el verdadero sentido de las voces, su naturaleza y calidad, con las phrases o modos de hablar, los proverbios o refranes, y otras cosas convenientes al uso de la lengua* (Madrid 1726), vol. 1, pp. 345, 346.

3. He tomado esta caracterización de Carlo M. Cipolla, *Historia económica de la población mundial* (Crítica, Barcelona 1978), p. 57.

4. La primera máquina de vapor fue patentada por Thomas Savery (1650?-1715) en 1698. La de Newcomen perfeccionaba la de Savery.

5. James E. McClellan III y Harold Dorn, *Science and Technology in World History* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1999), p. 288.

6. Ian McNeill, «Basic tools, devices and mechanisms», en Ian McNeill, *An Encyclopaedia of the History of Technology* (Routledge, Londres 1990), pp. 1-43; p. 3.

7. Citado en Frederic L. Holmes, «The complementarity of teaching and research in Liebig's laboratory», *Osiris 5,* 121-164 (1989), p. 124.

8. Reproducida en Silvanus P. Thompson, *The Life of William Thomson, baron Kelvin of Largs* (MacMillan, Londres 1910), pp. 122-123.

9. Datos extraídos de Christa Jungnickel y Russell McCormmach, *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, vol. 1 (*The Torch of Mathematics, 1800-1870*) (The University of Chicago Press, Chicago 1986), p. 120.

10. Entre las obras que estudian la ciencia francesa, he encontrado especialmente útiles las siguientes: *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914*, Robert Fox y George Weisz, eds. (Cambridge University Press, Cambridge 1980); Harry W. Paul, *From Knowledge to Power. The Rise of the Science Empire in France, 1860-1939* (Cambridge University Press, Cambridge 1985); Mary Jo Nye, *Science in the Provinces. Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930* (University of California Press, Berkeley 1986); Terry Shinn, *Savoir scientifique et pouvoir social. L'École Polytechnique* (Presses de la Fondation Nationale des sciences politiques, París 1980).

11. En sus memorias, Talleyrand recordó su participación con las siguientes, escuetas, palabras: «Propuse decretar la uniformidad de pesos y medidas y me encargué también del comité de instrucción pública. Para llevar a cabo este gran trabajo consulté con los hombres más instruidos, más doctos y más notables de esta época, entre los que estaban Lagrange, Lavoisier, Laplace, Monge, Condorcet, Vicq d'Azir y La Harpe. Todos me ayudaron, y la reputación que este trabajo me dio exige que los nombre». Charles Maurice de Talleyrand, *Memorias* (Sarpe, Madrid 1985), pp. 88-89.

12. Las palabras de Condorcet tuvieron tal éxito que en la Ley del 10 de diciembre de 1799 en la que se fijaba la longitud definitiva del metro, se establecía, en el artículo 4: «Se acuñará una medalla para transmitir a la posteridad la época en la que el sistema métrico ha sido llevado a su perfección y la operación que le sirve de base. En el lado principal de la medalla la inscripción será: “A todos los tiempos, a todos los pueblos”, y en anverso, “República francesa, año VIII”».

13. Un panorama general de instituciones francesas entre 1795 y 1840 se encuentra en Ivor Grattan-Guinness, «*Grandes Écoles, petite Université:* Some puzzled remarks on higher education in Mathematics in France, 1795-1840», *History of Universities 7,* 197-225 (1988).

14. Napoleón conservó esta característica, e incluso la reforzó, cuando reorganizó el sistema educativo francés entre 1806 y 1811.

15. Terry Shinn, «Progresos y paradojas en la ciencia y la tecnología francesas, 1900-1930», en *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después,* José M. Sánchez Ron, coord. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1988), vol. 1, pp. 127-158; Mary Jo Nye, *Science in the Provinces, op. cit.*, p. 25.

16. T. Shinn, *Savoir scientifique et pouvoir social*, *op. cit.*

17. T. Shinn, «Progresos y paradojas en la ciencia y tecnologías francesas», *op. cit.*

18. Terry Shinn, «The French science Faculty system, 1808-1914: institutional change and research potential in mathematics and the physical sciences», *Historical Studies in the Physical Sciences 10,* 271-332 (1979); tabla 1.

19. Existen trabajos históricos sobre estas asociaciones; por ejemplo: Jack Morrell y Arnold Thackray, *Gentlemen of Science. Early Years of the British Association for the Advancement of Science* (Clarendon Press, Oxford 1981), J. Morrell y A. Thackray, *Gentlemen of Science. Early Correspondence of the British Association for the Advancement of Science* (Royal Historical Society Londres, 1984), William McGucken, «The social relations of science: The British Association for the Advancement of Science, 1931-1946», *Proceedings of the American Philosophical Society 123,* 237-264 (1979), Sally Gregory Kohlstedt, *The Formation of the American Scientific Community: The American Association for the Advancement of Science, 1848-1860* (University of Illinois Press, Urbana 1976).

20. Los romanos, por citar un ejemplo, valoraban mucho la púrpura de Tiro, porque con ella podían teñir de rojo sus sandalias, color que apreciaban. El procedimiento era, sin embargo, tan costoso que el emperador Adriano prohibió su uso cotidiano, reservándoselo para él y sus sucesores.

21. Más información en Simon Garfield, *Malva. Historia del color que cambió el mundo* (Península, Barcelona 2001; versión original en inglés de 2000).

22. En 1820, los químicos farmacéuticos franceses Pierre-Joseph Pelletier y Joseph Caventou aislaron los alcaloides de quina obtenida de la corteza del árbol de la quina, o quino (también fue llamado inicialmente «cascarilla»), del género *cinchona*, un árbol del tamaño de un ciruelo que se encontraba casi exclusivamente en Bolivia y Perú. La demanda de quinina pronto fue grande: en 1852, por ejemplo, la Compañía de las Indias Occidentales se gastaba más de cien mil libras anuales en suministros de quinina pura, destinada a sus empleados en la India, y el ejército británico ubicado en aquel mismo país necesitaba en torno a 750 toneladas de corteza de quino. Parece que el uso de la quina (o «corteza del Perú») como antifebril para la curación de las fiebres intermitentes que ocasionaba la malaria, se remonta al menos a 1630; véase María Luisa de Andrés Turrión, «El monopolio de la quina: objetivo de la corona española a lo largo de la ilustración», «Presentación» a Hipólito Ruiz, *Quinología. Suplemento a la quinología* (Fundación de Ciencias de la Salud, Madrid 1994).

23. Citado en S. Garfield, *Malva*, *op. cit.*, p. 40.

24. El año siguiente Perkin sintetizaba la anilina (que F. F. Runge había aislado en 1834 del alquitrán de hulla), que es la base de la industria de los colorantes azoicos. Sobre Perkin y la malva, véase, además del libro ya citado de Garfield (*Malva*), Tony Travis, «Perkin and mauve», *Education in Chemistry,* pp. 81-84 (mayo de 1988).

25. N. J. G. Pounds, *Geografía histórica de Europa* (Crítica, Barcelona 2000; versión original en inglés de 1999), p. 542.

26. Seguiré en este punto trabajos de Robert Fox, en los cuales este historiador británico ofrece un espléndido ejemplo de la interrelación entre lo que podríamos denominar «razón científica», «razón técnica», «razón económica» y «razón política». R. Fox, «Contingency or mentality? Technical innovation in France in the age of science-based industry», en *Technological Education-Technological Style,* Melvin Kranzberg, ed. (San Francisco Press, San Francisco, 1986), pp. 59-68.

27. N. J. G. Pounds, *Geografía histórica de Europa*, *op. cit.*, p. 542.

28. Bajaron los precios de la alizarina mediante subsidios estatales.

29. Este punto fue sacado a la luz en realidad por R. Steven Turner, aunque no hiciese hincapié en él: «The growth of professorial research in Prussia, 1818 to 1848 —Causes and context», *Historical Studies in the Physical Sciences 3*, 137-182 (1971).

30. Las referencias básicas para Liebig y su escuela son: William H. Brock, *Justus von Liebig. The Chemical Gatekeeper* (Cambridge University Press, Cambridge 1997); Jack B. Morrell, «The chemist breeders: the research schools of Liebig and Thomas Thomson», *Ambix 19,* 1-46 (1972); Frederic L. Holmes, «The complementary of teaching and research in Liebig's laboratory», *op. cit.*; Joseph S. Fruton, *Contrasts in Scientific Style. Research Groups in the Chemical and Biochemical Sciences* (American Philosophical Society, Filadelfia, 1990), capítulo 2, y «The Liebig research group – a reappraisal», *Proceedings of the American Philosophical Society 132*, 1-66 (1988).

31. Sobre las escuelas de investigación y su importancia, véase Gerald L. Geison, «Scientific change, emerging specialties, and research schools», *History of Science 19*, 20-49 (1981).

32. Fue en 1845 cuando Liebig recibió el título que le permitía utilizar el «von».

33. J. Liebig, «Über einen neuen Apparat zur Analyse organischer Korper», *Annalen der Physik und Chemie 21*, 4-6 (1831).

34. Recordemos, en este sentido, que en 1828 Friedrich Wöhler demostró que la urea, un producto elaborado por los organismos vivos, tenía la misma composición que el cianato amónico, una sustancia inorgánica. El descubrimiento de Wöhler, así como los trabajos que estimuló, significó, además de un gran impulso para la química orgánica, un duro golpe para la entonces extendida creencia de que la materia orgánica se distingue de la inorgánica por poseer un principio *vital*. Un duro golpe que Hermann Helmholtz (con el que nos volveremos a encontrar en el capítulo 4) convirtió en mortal en 1847 con su célebre memoria sobre la conservación de la energía (*Über die Erhaltung der Kraft*), que culminaba y extendía contribuciones previas de Julius Robert Mayer y James Prescott Joule. El trabajo de Helmholtz, junto con el anterior —ya citado— de Sadi Carnot, quien en *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824) había sostenido que «la producción de la potencia motriz en la máquina de vapor se debe no a un consumo real de calórico [calor], sino a su transporte de un cuerpo caliente a otro frío», y los posteriores de Rudolf Clausius y William Thomson fueron los pilares sobre los que se levantó la termodinámica (ciencia de la energía), la disciplina en la que los procedimientos empíricos utilizados durante la Revolución Industrial encontraron una descripción fenomenológica sistemática.

35. Citado en F. L. Holmes, «The complementary of teaching and research in Liebig's laboratory», *op. cit.*, p. 142.

36. En 1808 Berzelius había abierto para unos pocos estudiantes un laboratorio de enseñanza en el Collegium Medicum de Estocolmo, aunque era a su laboratorio privado, situado primero en su casa y luego en la Academia de Ciencias sueca, adonde iban sus estudiantes más prometedores.

37. J. S. Fruton, *Contrasts in Scientific Style, op. cit.*, p. 26.

38. La versión inglesa de esta obra fue publicada en Inglaterra el mismo año que aparecía en Alemania, y el año siguiente se editaba en Estados Unidos. También hay que señalar, como fuente de su influencia fuera de Alemania, la intervención de Liebig en el congreso de la British Association for the Advancement of Science de 1840 (su conferencia se tituló: «Organic chemistry in its application to agriculture and physiology»).

39. Justus von Liebig, *Chemistry and Its Applications to Agriculture and Physiology* (T. B. Peterson, Filadelfia 1852), p. 30.

40. Joseph H. Gilbert, «President's address. Section B», *Report of the Fiftieth Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Swansea, 1880* (John Murray, Londres 1880), pp. 507-533.

41. Aunque no me referiré a esta obra, una referencia básica para comprender la industria química del siglo XIX es el libro de L. F. Haber, *The Chemical Industry During the Nineteenth Century* (Clarendon Press, Oxford 1958). Yo no la he utilizado apenas por su énfasis en los aspectos industriales y económicos, lo que hace que sus comentarios sobre puntos científicos sean en general no excesivamente interesantes para mis propósitos en este libro. Algo parecido se puede decir de la obra clásica de David S. Landes, *The Unbound Prometheus* (Cambridge University Press, Cambridge 1969).

42. Otro indicador de la importancia de la química orgánica se obtiene del número de artículos y monografías de pequeña extensión publicados por los directores de institutos y laboratorios de química pura en universidades y escuelas técnicas (incluyendo a partir de 1912 los dos Institutos Káiser Wilhelm que mencionaré más adelante). Entre 1871 y 1875 los trabajos dedicados a química orgánica constituían el 79 por 100 de todos los trabajos de química; entre 1891 y 1895 fue el 88 por 100, mientras que en 1910-1914 descendió al 57 por 100; si se cuenta sólo la producción en la universidad, las cifras respectivas son menores: 65 por 100, 69 por 100 y 47 por 100. Jeffrey A. Johnson, «Hierarchy and creativity in Chemistry, 1871-1914», *Osiris 5,* 214-240 (1989).

43. Una lista más completa se encuentra en Walter Wetzel, «Origins of and education and career opportunities for the profession of “chemist” in the second half of the nineteenth century in Germany», en David Knight y Helge Kragh, eds., *The Making of the Chemist* (Cambridge University Press, Cambridge 1998), pp. 77-94; pp. 84-85.

44. John J. Beer, *The Emergence of the German Dye Industry* (The University of Illinois Press, Urbana 1959), p. 42. Véase, asimismo, Aaron J. Ihde, *The Development of Modern Chemistry* (Dover, Nueva York 1984), p. 459.

45. Los datos precedentes proceden de Raúl Rodríguez Nozal y Antonio González Bueno, *Entre el arte y la técnica* (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 2005), pp. 108-109.

46. Volveremos a encontrarnos con Bernard en el capítulo 4.

47. Citado en Rodríguez Nozal y González Bueno, *Entre el arte y la técnica*, *op. cit.*, pp. 47-48.

48. Acerca de la situación institucional de la física en Alemania durante el siglo XIX y primeras décadas del XX, véase C. Jungnickel y R. McCormmach, *Intellectual Mastery of Nature*, *op. cit*.

49. Sobre Neumann y su actividad en Königsberg, véase Kathryn M. Olesko, *Physics as a Calling. Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics* (Cornell University Press, Ithaca 1991).

50. Un tálero equivalía, aproximadamente, a un marco.

51. Otro dato ilustrativo es que, entre 1810 y 1840, el gobierno de Prusia se gastó en la Universidad de Berlín 200.000 táleros en zoología y mineralogía, frente a 3.500 en física (y esto sólo a partir de 1833).

52. En 1920 los miembros eran 800, 1.200 en 1923 y 1.300 en 1930. Paul Forman, *The Environment and Practice of Atomic Physics in Weimar Germany: A Study in the History of Science,* tesis doctoral (University of California, Berkeley 1967), p. 151. Véase también Emil Warburg, «Zur Geschichte der Physkalischen Gesellschaft», *Naturwissenschaften 13*, 34-45 (16 de enero de 1925).

53. Estos científicos que contribuían a prestigiar a la física no siempre eran físicos propiamente dichos. Piénsese, por ejemplo, en el ya citado Hermann von Helmholtz, quien llegaría a ser el patriarca de la física alemana y catedrático de Física en Berlín. Tras estudiar medicina, Helmholtz trabajó como médico para el ejército alemán y sus primeras cátedras universitarias fueron de fisiología.

54. David Cahan, «The institutional revolution in German physics, 1865-1914», *Historical Studies in the Physical Sciences 15*, 1-65 (1985), p. 39.

55. *Ibid.*, p. 17.

56. Paul Forman, John L. Heilbron y Spencer Weart, «Physics *circa* 1900. Personnel, funding, and productivity of the academic establishments», *Historical Studies in the Physical Sciences 5,* 1-185 (1975), tabla A.1. Al considerar el número de físicos en Estados Unidos, hay que tener en cuenta la gran cantidad de universidades existentes en esa nación.

57. *Ibid.,* tabla C.1. Bajo el epígrafe «Otros fondos», se incluyen: inversiones o apropiaciones de los propios centros, ayudas recibidas para proyectos concretos y filantropía.

58. Esta institución ha sido estudiada detalladamente por David Cahan, *An Institute for an Empire. The Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1871-1918* (Cambridge University Press, Cambridge 1989), «Werner Siemens and the origin of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1872-1887», *Historical Studies in the Physical Sciences 12*, 253-283 (1982), y «The geopolitics and architectural design of a metrological laboratory: The Physikalisch Technische Reichsanstalt in Imperial Germany», en *The Development of the Laboratory. Essays on the Place of Experiment in Industrial Civilization,* Frank A. J. L. James, ed. (MacMillan Press, Londres 1989), pp. 137-154.

59. Los principales hitos en la carrera de Siemens son los siguientes: después de haber desarrollado explosivos para el ejército prusiano, fundó en 1845, junto al artesano Johann Georg Halske, una compañía de sistemas telegráficos. En la década de 1860 los negocios de Siemens en este campo se extendían por todo el mundo, habiendo establecido líneas telegráficas entre Londres y Calcuta; junto a su hermano William, que se afincó en Inglaterra, figuró entre los principales contratistas del cable submarino transatlántico, del que me ocupo más adelante. A partir de 1867 el imperio de Siemens se consolidó introduciéndose en áreas como el alumbrado eléctrico y sistemas de tracción eléctrica (tranvías, por ejemplo), es decir, campos en los que se podía explotar el principio de inducción electromagnética descubierto por Faraday. Cuando se retiró de los negocios, la compañía de Siemens y Halske (éste había abandonado el negocio en 1868) dominaba la rama de bajo voltaje de la industria eléctrica germana, y con la Allgemeine Electrizitäts-Gesellschaft (AEG) de Rathenau, también la de alto voltaje.

60. Werner von Siemens, *Memorias de mi vida* (Editora Internacional, Berlín/Múnich/Madrid 1901), pp. 231-232.

61. El Instituto de Investigación de Física y Química japonés, fundado en 1917, siguió también el modelo alemán. James R. Bartholomew, *The Formation of Science in Japan* (Yale University Press, New Haven 1989), pp. 212-217.

62. En la actualidad se denomina National Institute of Standards and Technology.

63. Esta posición de preeminencia también se plasmó en lo que a terrenos se refiere: en 1893 el PTR ocupaba 34.189 m2, más que ninguna otra institución de investigación física hasta la Primera Guerra Mundial.

64. Daniel Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Alfred A. Knopf, Nueva York 1978), pp. 66 y 96.

65. D. Cahan, *An Institute for an Empire*, *op. cit.*, pp. 143 y ss.

66. Más detalles de esta cuestión, al igual que de los aspectos que se mencionan a continuación, se encuentran en José M. Sánchez Ron, *Historia de la física cuántica. I. El período fundacional (1860-1926)* (Crítica, Barcelona 2001).

67. Acerca del descubrimiento de Planck, véase Martin J. Klein, «The beginning of the quantum theory», en *History of Twentieth Century Physics* (Academic Press, Nueva York 1977), pp. 1-39.

68. Citado en Armin Hermann, *La nueva física* (Inter Naciones, Bonn-Bad Godesberg 1979), p. 45.

69. Con cierta exageración en su recomendación, el káiser señalaba que «la ciencia alemana se ha rezagado con respecto a la de otros países y está gravemente amenazada en su poder competitivo»; citado en Karl von Meyenn, «Del conocimiento científico al poder de la ciencia. Ciencia y política durante el Segundo Imperio y la República de Weimar», en *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después,* J. M. Sánchez Ron, coord., vol. I, *op. cit*., pp. 63-126; p. 76.

70. La historia de la Sociedad Káiser Guillermo se describe en Jeffrey Allan Johnson, *The Kaiser's Chemists. Science and Modernization in Imperial Germany* (The University of North Carolina Press, Chapel Hill 1990).

71. Estudiaré el descubrimiento de la fisión en el capítulo 11.

72. Hans Christian Oersted, *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam* (1820), una breve descripción en latín del descubrimiento, que fue traducida rápidamente a otros idiomas (en inglés apareció en *Annals of Philosophy 16*, 273-276 [1820]; en alemán en el *Journal für Chemie und Physik 29*, 275-281 [1820], y en francés en *Annales de Chemie 14*, 417-425 [1820]). Este primer artículo, junto al segundo (publicado en el *Journal für Chemie 29*, 364-369 [1820], bajo el título —traducido al español— de «Nuevos experimentos electro-magnéticos»), se reproducen en Karen Jelved, Andrew D. Jackson y Ole Knudsen, eds., *Selected Scientific Works of Hans Christian Oersted* (Princeton University Press, Princeton 1998), pp. 413-416, 417-420, 421-424.

73. *Philosophical Transactions of the Royal Society 155,* 459-512 (1865). La «Parte introductoria» de este artículo, en su versión original en inglés y traducción al español, aparece en James Clerk Maxwell, *Escritos científicos*, José M. Sánchez Ron, ed. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1998), pp. 152-161. Esta obra contiene también otros escritos científicos de Maxwell y una extensa introducción del editor sobre la vida y obra de Maxwell.

74. J. C. Maxwell, «On physical lines of force», *Philosophical Magazine 21*, 161-175, 281-291, 338-345 (1861), *23*, 12-24, 85-95 (1862), reproducido en *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, David Niven, ed. (Cambridge University Press, Cambridge 1890; Dover, Nueva York 1965), vol. I, p. 500.

75. Entre las referencias útiles para ampliar detalles de las cuestiones tratadas en este apartado, véase Herbert W. Meyer, *A History of Electricity and Magnetism* (Burndy Library, Norwalk 1972) y Malcolm MacLaren, *The Rise of the Electrical Industry During the Nineteenth Century* (Princeton University Press, Princeton 1943).

76. Un año después, Henry construyó un motor eléctrico basado en mecanismos propios de la máquina de vapor.

77. Ya en Londres, Cooke intentó reproducir el experimento que había visto en Alemania. No lo consiguió y buscó el consejo de Wheatstone, que en aquella época investigaba la conducción metálica en un sótano del King's College. Ahí nació su asociación.

78. Poco más de un mes después de obtener una patente en Estados Unidos, Morse embarcó con rumbo a Inglaterra para obtener la correspondiente patente británica. Tras siete semanas de esfuerzos, se la negaron. Como argumentos se expuso que ya existía una patente (de Cooke y Wheatstone) de telégrafo y que los detalles de la patente que solicitaba ya habían sido publicados. Muy probablemente, el rechazo se debió a que el gobierno británico no quería que una compañía estadounidense compitiese con las nacionales. Sobre Morse, véase Iwan R. Morus, «Telegraphy and the technology of display. The electricians and Samuel Morse», *History of Technology 13,* 20-40 (1991).

79. George Basalla (*La evolución de la tecnología* [Crítica, Barcelona 1991]) ha señalado, aunque en otro contexto, este punto. El «diseño de los primeros motores eléctricos», escribía (p. 59), «debió más a los artefactos anteriores que a la teoría científica. La teoría electromagnética puede haber impuesto restricciones en el diseño de motores, pero no dictó que el primer motor eléctrico hubiese de operar en una máquina de vapor». En otro lugar de esa misma obra (p. 116), ha señalado acertadamente que los «partidarios de la investigación científica han exagerado la importancia de la ciencia al afirmar que ésta es la raíz de virtualmente todos los cambios tecnológicos mayores. Una evaluación más realista e históricamente más exacta de la influencia de la ciencia en el cambio tecnológico es la de que la ciencia constituye una de entre las varias fuentes interactivas de novedad».

80. Bruce J. Hunt, «Michael Faraday, cable telegraphy and the rise of field theory», *History of Technology 13,* 1-19 (1991).

81. Crosbie Smith y M. Norton Wise, *Energy and Empire. A Biographical Study of Lord Kelvin* (Cambridge University Press, Cambridge 1989), pp. 445-494, 661-683.

82. Los comentarios que siguen acerca de las relaciones entre telegrafía y laboratorios de física se han beneficiado del contenido de Romualdas Sviedrys, «The rise of physics laboratories in Britain», *Historical Studies in the Physical Sciences 7,* 405-436 (1976).

83. Un ejemplo significativo es el de William Ayrton, que llegaría a ocupar una cátedra de Física en el City Guilds Institute londinense, donde también estableció un laboratorio de ingeniería eléctrica, tras haber permanecido algunos años en Japón, donde fue nombrado catedrático de Filosofía Natural y Telegrafía en 1873 en el Colegio Imperial de Ingeniería (allí también fundó un laboratorio telegráfico). Después de haber estudiado (1864-1867) en el University College de Londres, Ayrton obtuvo el primer puesto en las oposiciones para el Indian Government Telegraph Service, lo que le sirvió para que el secretario de Estado para la India le enviase inmediatamente a estudiar en el laboratorio de Thomson en Glasgow durante la sesión de invierno de 1867-1868. Graeme Goodday, «Teaching telegraphy and electrotechnics in the physics laboratory. William Ayrton and the creation of an academic space for electrical engineering in Britain, 1873-1884», *History of Technology 13*, 73-111 (1991).

84. Esto no impidió, sin embargo, que continuasen los intentos. En 1842, por ejemplo, Morse depositó un cable submarino de más de 3 kilómetros en el puerto de Nueva York; en 1845, Ezra Cornell utilizó otro de unos 20 kilómetros entre Fort Lee y la ciudad de Nueva York.

85. Las contribuciones de Thomson se tratan en Silvanus P. Thompson, *The Life of William Thomson, baron Kelvin of Largs, op. cit.*, capítulo XI, y en C. Smith y M. N. Wise, *Energy and Empire, op. cit.*, capítulo 13.

86. *Una ciudad flotante* forma parte (fue la décima entrega) de la serie *Les voyages extraordinaires*, que comenzó en 1863 con *Cinco semanas en globo*.

87. Parece que en 1857 Verne había viajado a Glasgow, donde visitó el astillero en el que se construía el *Great-Eastern*, un espectacular buque de 20.000 toneladas destinado a albergar a 4.000 viajeros.

88. Julio Verne, *Una ciudad flotante* (Club Internacional del Libro, Madrid 1989), pp. 11, 17.

89. *Ibid.*, pp. 19-20.

90. La Exposición Universal de 1867 se celebró en París. La visitaron siete millones de personas.

91. Una fuente imprescindible para estudiar la cuestión de la telegrafía y la política internacional es Daniel R. Headrick, *The Invisible Weapon. Telecomunications and International Politics, 1851-1945* (Oxford University Press, Oxford 1991).

92. Tabla extraída de Tony Aldgate, «Communications, 1789-1870», en *Technology, Communications, Weaponry,* parte 3 (The Open University Press, Milton Keynes 1980), pp. 5-29; p. 38.

93. La patente del teléfono de Bell fue emitida el 7 de marzo de 1876.

94. Citado en Carolyn Marvin, *When Old Technologies Were New. Thinking about Electric Communication in the Late Nineteenth Century* (Oxford University Press, Oxford 1988), p. 156.

95. Al menos en Gran Bretaña, y cabe suponer que si fue pasada por alto allí, en el lugar en donde había sido desarrollada, más lo sería aún en otras naciones. Bruce J. Hunt, «Practice *vs*. theory. The British electrical debate, 1888-1891», *Isis* 74, 341-355 (1983). En cualquier caso, como siempre suele ocurrir, existieron notables excepciones, como fue el caso de Oliver Heaviside (1850-1925), que efectuó aportaciones notables al desarrollo de la electrodinámica maxwelliana (véase en este sentido Paul J. Nahin, *Oliver Heaviside: Sage in Solitude* [IEE Press, Nueva York 1988)]. Sobre la dificultad de la presentación de Maxwell, véase José M. Sánchez Ron, «Introducción» a James Clerk Maxwell, *Escritos científicos*, *op. cit.*, pp. XI-LXXXIX.

96. Existe una magnífica edición en castellano de los trabajos de Hertz en este campo, que incluye, además, la versión alemana: Heinrich Hertz, *Las ondas electromagnéticas,* Manuel García Doncel y Xavier Roqué, eds. (Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra 1990).

97. Empleo, naturalmente, la palabra «electricista» en un sentido, apropiado entonces, pero que con el desarrollo del campo y la diversificación de roles, ha perdido ya aquel significado.

98. Matthew Josephson, *Edison* (MacGraw-Hill, Nueva York 1959), pp. 350, 362. Sobre Menlo Park, véase Francis Jehl, *Menlo Park Reminiscences* (The Edison Institute, Dearborn 1937; reeditada por Dover, Nueva York 1990).

99. Otro ejemplo significativo del frecuente divorcio existente entre conocimiento científico y conocimiento práctico hacia 1890 tiene que ver con la telefonía a grandes distancias. A finales del siglo XIX las comunicaciones telefónicas se encontraban firmemente establecidas, aunque limitadas principalmente a distancias pequeñas (dentro de una misma ciudad o entre ciudades no excesivamente alejadas). Existían líneas telefónicas de gran longitud (submarinas o no), pero además de ser muy costosas de construir, sufrían del problema de que la señal se iba debilitando, atenuando considerablemente el sonido. La técnica que se empleaba habitualmente para mitigar este problema era emplear cables de cobre y capas aislantes más gruesas para disminuir así la resistencia y capacitancia. Naturalmente, esto aumentaba los costes. También se estaba intentando desarrollar repetidores que, situados a lo largo de la línea, amplificasen la corriente, pero los existentes deformaban la señal. A comienzos de siglo, la industria se encontraba, por consiguiente, en un punto muerto: para que el teléfono pudiese competir con el sistema telegráfico era preciso resolver este problema. Sin embargo, la solución existía ya desde 1887. Aquel año, Oliver Heaviside en Inglaterra y Aimé Vaschy en Francia habían demostrado teóricamente que la atenuación de corrientes telefónicas era baja en conductores con autoinductancia elevada. Este resultado sugería que los problemas antes señalados se podrían solucionar si se «cargaban» los cables, bien insertando carretes separados de manera regular o recubriendo los núcleos de cobre con una capa uniforme de hierro blando. Sin embargo, la mayoría de los ingenieros, ajenos u hostiles al conocimiento teórico, ignoraron, cuando no despreciaron, la idea que tuvieron que redescubrir, independientemente, en 1899 George Campbell, del Bell System, y Michael Pupin, de la Universidad de Columbia. Véase Helge Kragh, «Telephone technology and its interaction with science and the military, ca. 1900-1930», en *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology*, Paul Forman y José M. Sánchez Ron, eds. (Kluwer, Dordrecht 1996), pp. 37-67.

100. Hugh G. J. Aitken, *Syntony and Spark. The Origins of Radio* (Princeton University Press, Princeton 1985).

101. Los intereses de Lodge en aquella época se mencionan en Peter Rowlands, *Oliver Lodge and the Liverpool Physical Society* (Liverpool University Press, Liverpool 1990), p. 121.

102. «Sixty years of submarine telegraphy», *Electrician, 19* de febrero de 1897, p. 548; citada en C. Marvin, *When Old Technologies were New*, *op. cit.*, p. 157.

103. Sobre Braun, consúltese Friedrich Kurylo y Charles Susskind, *Ferdinand Braun. A Life of the Nobel Prizewinner and Inventor of the Cathode-ray Oscilloscope* (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1981).

104. W. Siemens, «President's address», en *Report of the Fity-second Meeting of the British Association. Southampton, 1882* (John Murray, Londres 1883), pp. 1-33; p. 12.

105. La iluminación por gas de carbón se había introducido en las grandes ciudades inglesas hacia 1812.

106. He argumentado que la ciencia española de los siglos XVI y siguientes también sufrió las obligaciones que le imponía su imperio americano: José M. Sánchez Ron, *Cincel, martillo y piedra* (Taurus, Madrid 1999), p. 33.

107. No obstante, hay que señalar que algunas de las tareas de la colonización implicaban tener que recurrir a la tecnología (y en parte a la ciencia). El ejemplo de los cables submarinos para unir Gran Bretaña es un caso particularmente claro, pero no el único (véase Daniel R. Headrick, *Los instrumentos del Imperio* [Alianza, Madrid, 1989]). Desgraciadamente, me llevaría demasiado lejos analizar aquí este tipo de cuestiones, al igual que la algo diferente englobada bajo el título de «imperialismo cultural», esto es, la utilización de la ciencia para reforzar el prestigio y, en consecuencia, el dominio político de ciertas naciones. Baste decir que las cuatro naciones de que me ocupo en este capítulo intentaron beneficiarse —a lo largo de un período que va de la mitad del siglo XIX a las primeras décadas del XX— de ese imperialismo cultural (por ejemplo, en Australia, Argentina —donde España también compitió a través, sobre todo de la Institución Cultural Española—, China, India e Indonesia). Lewis Pyenson, *Cultural Imperialism and Exact Sciences. German Expansion Overseas, 1900-1930* (Peter Lang, Nueva York 1985), *Empire of Reason. Exact Sciences in Indonesia, 1840-1940* (E. J. Brill, Leiden 1989), «Pure learning and political economy: Science and European expansion in the age of imperialism», en *New Trends in the History of Science,* R. P. Visser *et al.,* eds. (Rodopi, Amsterdam 1989), pp. 209-278; *Scientific Colonialism. A Cross-cultural Comparison,* Nathan Reingold y Marc Rothenberg, eds. (Smithsonian Institution Press, Washington D. C. 1987).

108. Argumentos parecidos, aunque no exactamente iguales, han sido utilizados por Donald S. Cardwell, *The Organisation of Science in England* (Heinemann, Londres 1972).

109. Es preciso señalar que al igual que en Alemania, pero en importantes aspectos todavía con mayor intensidad, en Gran Bretaña el ideal de una educación humanista estaba firmemente introducido en los niveles básicos, lo que favorecía tendencias como la que acabo de mencionar. Sobre el origen social de los estudiantes de Cambridge a mediados del siglo XIX, véase Harvey W. Becher, «The social origins and post-graduate careers of a Cambridge intellectual elite, 1830-1860», *Victorian Studies 28,* 97-127 (1984).

110. Oxford, Cambridge, Durham, Victoria, Gales, Birmingham, Londres, St. Andrews, Aberdeen, Edimburgo, Dublín, Glasgow y la Royal University (Irlanda).

111. En lo que sigue, apenas entro en ese fascinante mundo que es la universidad británica de la época. Aunque breves, son recomendables los esclarecedores comentarios, no sólo de la universidad británica, sino también de la alemana, estadounidense y francesa de Joseph Ben-David: *The Scientist's Role in Society. A Comparative Study* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1971); «Universities and academic systems in modern societies» (con Awzaham Zloczower); «Science and the university system», en *Scientific Growth* (University of California Press, Berkeley 1991), pp. 125-157, 159-173.

112. Fritz K. Ringer, *Education and Society in Modern Europe* (Indiana University Press, Bloomington 1979), pp. 226-229 y tabla V.

113. Al principio, la mayor parte de los estudiantes de estos colleges lo eran a tiempo parcial, un dato revelador en cuanto a su origen. Leeds, por ejemplo, abrió sus puertas con 80 estudiantes por la mañana, 101 por la tarde y 145 nocturnos. Acerca de los *civic colleges,* véase G. Roderick y M. Stephens, «Scientific studies and scientific manpower in the English civic universities, 1870-1914», *Science Studies 4,* 41-63 (1974) y E. Royle, *Modern Britain. A Social History, 1750-1985* (Edward Arnold, Londres 1987), capítulo 7.

114. John H. Poynting, «University training in our provincial colleges», en *Collected Scientific Papers,* G. A. Shakespear y G. Barlow, eds. (Cambridge University Press, Cambridge 1920), pp. 557-564.

115. Sobre Owens College y, en general, la ciencia en Manchester, consúltese Robert H. Kargon, *Science in Victorian Manchester. Enterprise and Expertise* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1977). En lo que a la física se refiere, véase el libro preparado para conmemorar el 25 aniversario de la elección como catedrático de Arthur Schuster en el Owens College: *The Physical Laboratories of the University of Manchester. A Record of 25 Years' Work* (Manchester University Press, Manchester 1906).

116. Carnegie nació en Escocia, de la que emigró en 1848 hacia Estados Unidos, donde amasaría una inmensa fortuna con la industria del acero, que le permitió ser uno de los mayores benefactores de todos los tiempos en el ámbito de la educación: se calcula que durante su vida donó más de 350 millones de dólares.

117. Joseph J. Thomson, «The growth in opportunities for education and research in physics during the past fifty years», en *British Association for the Advancement of Science. Report of the Centenary Meeting. London 1931* (Office of the British Association, Londres 1932), pp. 19-30. Este texto reproduce el discurso de Thomson como presidente de la sección A de la British Association.

118. Nos encontramos aquí con una manifestación, en mi opinión bastante clara, del problema marxista de la «acumulación primitiva». Como se sabe, no ser primero en un campo determinado también puede tener sus ventajas, especialmente cuando cambia sustancialmente el conocimiento científico-tecnológico (y sus posibilidades de aplicación).

119. *Third Report of the Royal Commission on Scientific Instruction and the Advancement of Science* (Her Majesty's Stationery Office, Londres 1873), p. LVIII.

120. R. Sviedrys, «The rise of physics laboratories in Britain», *op. cit.*

121. Sobre este laboratorio, tan importante en la historia de la física y, después, ya mediado el siglo XX, de la biología molecular, consúltese J. G. Crowther, *The Cavendish Laboratory, 1874-1974* (Science History Publications, Nueva York 1974). Acerca de sus orígenes, Romualdas Sviedrys, «The rise of physical science at Victorian Cambridge», *Historical Studies in the Physical Sciences 2,* 127-145 (1970).

122. Oliver Lodge, *Past Years. An Autobiography* (Charles Scribner's Sons, Nueva York 1931), pp. 153-154.

123. La edición inglesa (1840) del libro de Liebig sobre este tema (*Chemistry and Its Applications to Agriculture and Physiology*), que ya mencioné, ayudó en este sentido.

124. Gerrylynn K. Roberts, «The establishment of the Royal College of Chemistry: an investigation of the social context of early-Victorian chemistry», *Historical Studies in the Physical Sciences 7,* 437-485 (1976). Un planteamiento más general se encuentra en R. F. Bud y G. K. Roberts, *Science versus Practice. Chemistry in Victorian Britain* (Manchester University Press, Manchester 1984).

125. Douglas Galton *et al.,* «On the establishment of a National Physical Laboratory», *Report of the Sixty-sixth Meeting of the British Association for the Advancement of Science 1896* (John Murray, Londres 1896), pp. 82-86.

126. P. Forman, J. L Heilbron y S. Weart, «Physics *circa* 1900», *op. cit.*

127. Norman Lockyer, «Presidential address», *Report of the British Association for the Advancement of Science 1903* (John Murray, Londres 1903), pp. 3-28.

128. Véase Robert John Strutt, fourth baron of Rayleigh, *Life of John William Strutt, third baron of Rayleigh* (The University of Wisconsin Press, Madison 1968), p. 276.

129. Douglas Galton, «Address», en *Report of the Sixty-fifth Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Ipswich, 1895* (John Murray, Londres 1895), pp. 1-35; p. 34.

130. La historia del laboratorio se narra en Edward Pyatt, *The National Physical Laboratory. A History* (Adam Hilger Bristol, 1983). Algunos datos de los que siguen se han extraído de *The Record of the Royal Society of London,* tercera edición (Oxford University Press/ Royal Society Londres, 1912). Véase, asimismo, R. J. Strutt, *Life of John William Strutt, op. cit.*, pp. 277-285.

131. La industria británica también aportó fondos para el laboratorio. En 1909, por ejemplo, Julius Wernher donó 10.000 libras para ampliar el laboratorio metalúrgico; más tarde, Alfred Yarrow cedió 20.000 libras, con las que se construyó un tanque de pruebas.

132. Véase R. Robertson, «Chemistry and the State», *Report of the British Association for the Advancement of Science Meeting, Toronto, 1924* (Office of the British Association, Londres 1925), pp. 53-81.

133. Una idea de lo que fue esta asociación se puede obtener en Chris E. Makepeace, *Science and Technology in Manchester. Two Hundred Years of the Lit. and Phil*. (Manchester Literary & Philosophical Publications Ltd., Manchester 1984). Para un estudio más riguroso, véase R. H. Kargon, *Science in Victorian Manchester*, *op. cit.*

134. Leone Levi, «The scientific societies in relation to the advancement of science in the United Kingdom», *Report of the Forty-ninth Meeting. Sheffield, 1879* (John Murray, Londres 1879), pp. 458-468.

135. Sobre estos puntos, así como en general sobre la política científica en Gran Bretaña entre 1850 y 1920, véase Peter Alter, *The Reluctant Patron. Science and the State in Britain, 1850-1920* (Berg, Oxford 1987). Acerca del Imperial College, véase A. Rupert Hall, *Science for Industry. A Short History of the Imperial College of Science and Technology* (Imperial College, Londres 1982).

136. A. Hunter Dupree, *Science in the Federal Government* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1986; primera edición de 1957), p. 100. Para la ciencia en Estados Unidos durante el siglo XIX, véase también *Science in Nineteenth-century America. A Documentary History,* Nathan Reingold, ed. (MacMillan, Londres 1966) y Robert V. Bruce, *The Launching of Modern American Science, 1846-1876* (Cornell University Press, Ithaca 1987).

137. A. Hunter Dupree, *Science in the Federal Government op. cit.,* pp. 39-41.

138. Las listas que siguen han sido elaboradas por Stephen G. Brush, «The rise of astronomy in America», *American Studies 20*, 41-67 (1979).

139. Para completar la información reproduzco también a continuación la lista de los siguientes cincuenta años, en la que se ve el liderazgo que ya ejercían los astrónomos y astrofísicos estadounidenses: *1901-1950:* 1. G. E. Hale (1868-1938), estadounidense; 2. A. S. Eddington (1882-1944), británico; 3. H. Shapley (1885-1972), estadounidense; 4. H. N. Russell (1877-1957), estadounidense; 5. E. P. Hubble (1889-1953), estadounidense; 6. J. C. Kapteyn (1851-1922), holandés; 7. W. Baade (1893-1960), alemán/estadounidense; 8. J. H. Oort (1900-1992), holandés; 9. G. P. Kuiper (1905-1973), holandés/estadounidense; 10. B. Lyot (1897-1952), francés.

140. El capital de la industria química creció rápidamente durante los cuarenta años anteriores a la Primera Guerra Mundial: en 1879 se manufacturaban por valor de 1.984 millones de dólares (dólares correspondientes a 1929), el 4,3 por 100 de la producción total; en 1889, por 4.531 millones (4,3 por 100), en 1899, 8.107 (5 por 100), en 1904, 11.635 (4,9 por 100), 1909, 15.779 (4,9 por 100) y en 1914, 19.124 millones (5,7 por 100). En 1919 eran 24.197 los millones (6 por 100), diez años después 34.896 (6,7 por 100). A. Thackray, J. L. Sturchio, P. T. Carroll y R. Bud, *Chemistry in America, 1876-1976* (Reidel, Dordrecht 1985), tabla 4.2.

141. A. Tackray *et al., Chemistry in America, 1876-1976, op. cit.*, tablas 2.4 y 5.14. Al final de la Primera Guerra Mundial el número de miembros de la American Chemical Society era ya de 12.203, y en 1920 se alcanzó un máximo de 15.582, que no sería superado hasta 1928 (con 16.240).

142. Acerca de la creación de la American Physical Society, y en general sobre la física en Estados Unidos, véase Daniel Kevles, *The Physicists*, *op. cit.* Muy útiles son también dos artículos de Kevles: «Las instituciones científicas americanas, 1890-1930. La organización de la ciencia en una cultura práctica y pluralista», en *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después, op. cit.*, vol. 1, pp. 209-228, y «Physics and national power, 1870-1930», en *The Michelson Era in American Science, 1870-1930*, S. Goldberg y R. Stuewer, eds. (American Institute of Physics, Nueva York 1988), pp. 248-257. La química estadounidense no tiene todavía, desgraciadamente, su Kevles, aunque la obra de Arnold Thackray *et al., Chemistry in America, 1876-1976,* es enormemente valiosa con su información cuantitativa; también hay que mencionar para el caso de la química-física el libro de John W. Servos: *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America* (Princeton University Press, Princeton 1990).

143. Se entiende por «productivos» aquellos científicos que publicaron al menos un artículo cada tres años. Para pertenecer al grupo de los «más productivos», en el primer período se necesita haber publicado cuatro artículos en el caso de los químicos y siete en el de los físicos (el motivo de esta distinción es la diferencia en el número de años considerados). Para el segundo período el requisito es haber publicado ocho artículos. Daniel J. Kevles y Carolyn Harding, «The physics, mathematics, and chemical communities in America, 1870-1915. A statistical survey», *Social Science Working Paper,* n.° 136 (California Institute of Technology, marzo de 1977), tablas 1-4.

144. Hay, además, que tener en cuenta que la profesión de ingeniería prosperaba enormemente en Estados Unidos. A principios del siglo XX, y con excepción de la docencia, la profesión de ingeniero era la que más personas empleaba (me refiero, naturalmente, a profesiones que requerían una formación más o menos avanzada), y durante las tres décadas siguientes su continuo crecimiento reflejó el gran desarrollo de la industria nacional. En 1900 el número de ingenieros era, aproximadamente, de 45.000; en 1930 pasó a 230.000. El mayor crecimiento tuvo lugar en los campos más recientes y más científicos: la ingeniería eléctrica y la química. En 1928 el número de estudiantes matriculados en programas de ingeniería eléctrica superaba en un 50 por 100 los de ingeniería mecánica o civil, y el de registrados en ingeniería química era ya la mitad del de ingeniería mecánica (aparte estaban, evidentemente, los químicos propiamente dichos, muchos de los cuales también terminaban trabajando en la industria; algo que también ocurría con los físicos y la industria electrotécnica). David Noble, *El diseño de Estados Unidos. La ciencia, la tecnología y la aparición del capitalismo monopolístico* (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Madrid 1987), p. 42. Acerca de la ingeniería eléctrica, consúltese A. Michael McMahon, *The Making of a Profession. A Century of Electrical Engineering in America* (IEEE Press, Nueva York 1984).

145. W. Bernard Carlson, «Building Thomas Edison's laboratory at West Orange, New Jersey. A case study in using craft knowledge for technological invention, 1886-1888», *History of Technology 13,* 150-167 (1991).

146. Kendall Birr, «Industrial research laboratories», en *The Sciences in the American Context: New Perspectives,* Nathan Reingold, ed. (Smithsonian Institution Press, Washington D. C. 1979), pp. 193-207.

147. GE había surgido de los intereses técnicos y económicos de Edison, pero a partir de 1889 el fundador ya desempeñaba un papel menor en la compañía.

148. Para dirigir su laboratorio de Schenectady, Nueva York, GE contrató a Willis Whitney, que había obtenido su doctorado en Leipzig. El primer director del laboratorio de Du Pont, en Repauno, New Jersey, fue Charles Reese, un químico formado en Heidelberg. Análogamente, cuando Eastman Kodak fundó su laboratorio en Rochester, Nueva York, en 1913, el director fue el químico C. E. Kenneth Mees, que había estudiado en Londres.

149. Algunos apuntes interesantes relativos a la historia de la lámpara incandescente (historia que, por supuesto, no se limita a Estados Unidos y Alemania) se encuentran en A. Heerding, *The History of N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken,* vol. 1 (*The Origin of the Dutch Incandescendent Lamp Industry*) (Cambridge University Press, Cambridge 1986). El laboratorio de la Philips (Holanda), que se convertiría en un centro de investigación y desarrollo de importancia mundial, se fundó en 1891.

150. Esta historia se narra en K. Mendelssohn, *The World of Walther Nernst. The Rise and Fall of German Science* (Macmillan Press, Londres 1973).

151. Los Bell Telephone Laboratories, que volverán a aparecer en este libro en el capítulo 8, fueron creados como una compañía subsidiaria de ATT y Western Electric (ya en 1911 la Bell System, espoleada por la necesidad de desarrollar la telefonía a largas distancias y de responder al desafío planteado por la radio, había creado su propia rama de investigación). ATT autorizaba y pagaba por la investigación básica, mientras que Western Electric autorizaba y pagaba por el desarrollo de la tecnología aplicable a sus productos. Durante su primer año de vida, los laboratorios Bell emplearon a 3.600 personas, de las cuales 2.000 eran técnicos, y tenía un presupuesto de 12 millones de dólares. Sus investigadores trabajaban en radio, electrónica, química, magnetismo, óptica, matemáticas aplicadas, sonido, transformación de energía entre sistemas eléctricos y acústicos, generación y modificación de corrientes eléctricas, instrumentación, pinturas y problemas relativos al envejecimiento y preservación de la madera (para los postes telefónicos, por supuesto). Véase Leonard S. Reich, *The Making of American Industrial Research. Science and Business at GE and Bell, 1876-1926* (Cambridge University Press, Cambridge 1985); también *A History of Engineering and Science in the Bell System. The Early Years (1875-1925),* M. D. Fagen, ed. (Bell Telephone Laboratories, Inc. 1975).

152. Estos ejemplos han sido utilizados por Spencer R. Weart, «The rise of “prostituted” physics», *Nature 262,* 13-17 (1976).

153. En 1905 esta sociedad tenía 257 miembros, 685 en 1913, 1.296 en 1920, 1.969 en 1928, 2.673 en 1933 y 3.565 en 1939. Más recientemente, en 1975, el número ya ascendía a 28.889. Spencer R. Weart, «The physics business in America, 1919-1940. A statistical reconnaissance», en *The Sciences in the American Context*, N. Reingold, ed., *op. cit.*, pp. 295-358.

154. En 1910 se publicaron un total de 104 artículos, 144 en 1915-1916, 126 en 1920-921, 175 en 1925, 335 en 1930, 302 en 1935 y 317 en 1940. S. R. Weart, «The physics business in America, 1919-1940», *op. cit*.

155. Como se ve, estas universidades están situadas en la costa este de Estados Unidos, por la razón obvia de que fue allí donde primero comenzó la «colonización» —y el «desarrollo»— de la nación. La costa oeste se incorporó más tarde a este desarrollo —hacia comienzos del siglo XX—, como demuestra el caso del California Institute of Technology, con el que tendremos ocasión de encontrarnos a lo largo de este libro. Las fechas citadas para la fundación de las universidades mencionadas deben tomarse con precauciones; en general lo que quieren decir es que los orígenes de esas universidades se remontan a tales fechas, cuando fue creado un, normalmente, college del que con el tiempo surgiría la universidad en cuestión.

156. La matrícula de estudiantes en los programas para graduados de las universidades estadounidenses pasó de 6.000 en 1900 a 47.000 en 1930.

157. En 1956, el Institute for Medical Research se constituyó en universidad: la Rockefeller University. Sobre esta institución, véase José M. Sánchez Ron, «Dos ilustres celebraciones: Yale University (1701) y el Institute for Medical Research (1901), *Arbor*, n.° 673 (enero de 2002), pp. 29-37.

158. Robert E. Kohler, *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists, 1900-1945* (The University of Chicago Press, Chicago 1991). Más sucinto, pero útil, es el artículo de Stanley Coben, «American foundations as patrons of science: The commitment to individual research», en *The Sciences in the American Context: New Perspectives,* N. Reingold, ed., *op. cit.*, pp. 229-247.

159. Se puede considerar que el poder de adquisición del marco en 1900 era aproximadamente el mismo que el del dólar en 1975, no muy diferente de su valor en 1989. Una libra esterlina equivalía a 20,6 marcos. P. Forman, J. L. Heilbron y S. Weart, «Physics *circa* 1900», *op. cit.*

160. Simon Newcomb, «The evolution of the scientific investigator», *Congress of Arts and Science. Universal Exposition, St. Louis, 1904,* Howard J. Rogers, ed. (Houghton, Mifflin and Co., Boston 1905), vol. 1, pp. 135-147; reproducido en *Physics for a New Centu*ry, Katherine R. Sopka, comp. (American Institute of Physics, Nueva York 1986), pp. 3-15.

161. En lo que sigue, he utilizado materiales de J. M. Sánchez Ron, *Cincel, martillo y piedra*, *op. cit.*

162. José Echegaray, *Recuerdos* (Ruiz Hernandos Editores, Madrid 1917), tomo I, pp. 401-406.

163. Reproducido en Guillermo Sánchez Martínez, *Guerra a Dios, a la tisis y a los reyes: Francisco Suñer y Capdevilla, una propuesta materialista para la segunda mitad del siglo XIX español* (Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, Madrid 1987), p. 163.

164. José Echegaray, *Historia de las Matemáticas puras en nuestra España* (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid 1866), p. 27.

165. Otro de estos ejemplos es el de la recepción en España de la teoría de la evolución de Darwin. Trataré este caso en el capítulo 3.

166. Juan Pablo Fusi y Jordi Palafox, *España: 1808-1996. El desafío de la modernidad* (Espasa-Calpe, Madrid 1997); Jordi Nadal, *El fracaso de la Revolución Industrial en España, 1814-1913* (Ariel, Barcelona 1975).

167. Miguel Artola, *La burguesía revolucionaria (1808-1874)* (Alianza Editorial, Madrid 1990), p. 291.

168. Eugenio Portela y Amparo Soler Sáinz, *Bibliographia Chemica Hispanica, 1482-1950*, vol. II, *Libros y folletos, 1801-1900* (Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la Ciencia, Valencia 1987).

169. Gumersindo Vicuña, *Cultivo actual de las ciencias físico-matemáticas en España* (Imprenta de José M. Ducazcal, Madrid 1875), pp. 40-41.

170. Maestre de San Juan había estudiado medicina en Granada y Madrid. Completó su formación entre 1863 y 1867 en diferentes laboratorios de Francia, Alemania, Gran Bretaña y los Países Bajos. Obtuvo su cátedra madrileña (la primera cátedra de Histología en una universidad española) en 1873.

171. Santiago Ramón y Cajal, *Recuerdos de mi vida*, tercera edición (Imprenta de Juan Pueyo, Madrid 1923, p. 155; última edición a cargo de editorial Crítica, Barcelona 2006). Esta obra está formada por dos partes; la primera (*Mi infancia y juventud*) apareció publicada en 1901, mientras que la segunda (*Historia de mi labor científica*) data de 1917, año en que vio la luz junto a la primera parte.

172. S. Ramón y Cajal, *Recuerdos de mi vida*, *op. cit.*, p. 173.

173. En sus *Recuerdos* (p. 175) Cajal recordó a Vicent: «Organicé... en Valencia, con mejor éxito todavía que en Zaragoza, un curso práctico de Histología normal y patológica, al cual acudieron bastantes médicos que cursaban libremente el doctorado, y algunos doctores deseosos de ampliar sus conocimientos en Histología y Bacteriología; ciencia esta última que entonces alboreaba prometedora en el horizonte, a impulsos de los geniales descubrimientos de Pasteur y de Koch. Por cierto que uno de mis discípulos fue el fogoso, culto y activo jesuita P. Vicent, el cual, según ocurre en la mayoría de los eclesiásticos polemistas, no buscaba en la ciencia sino argumentos decisivos en pro de sus arraigadas creencias». El curso que menciona Cajal era uno de los que organizó para obtener ingresos suplementarios a su pobre salario como catedrático.

174. Esta carta se encuentra depositada en el «Archivo-Biblioteca Teodoro Llorente de J. T. Corbín Llorente, Valencia, y ha sido citada parcialmente por J. M.a López Piñero, en *Santiago Ramón y Cajal* (Publicacions de la Universitat de València, Valencia 2006), p. 202.

175. S. Ramón y Cajal, *Recuerdos de mi vida*, *op. cit.*, pp. 293-294.

176. Legado Cajal (Consejo Superior de Investigadores Científicos, Madrid). Esta carta se cita en Juan Andrés de Carlos Segovia, *Los Ramón y Cajal: una familia aragonesa* (Gobierno de Aragón, Zaragoza 2001), pp. 62-63.

177. Reproducido en Santiago Ramón y Cajal, *La psicología de los artistas* (Espasa Calpe, Madrid 1972), pp. 112-113.

178. Las citas que siguen están tomadas de una edición en Biblioteca Nueva (Madrid 1996), pp. 117-118.

179. *La psicología de los artistas*, *op. cit.*, pp. 114, 117.

180. Reproducido en *Expedientes administrativos de grandes españoles: Santiago Ramón y Cajal*, vol. 2 (*Tres Apéndices*) (Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid 1978), pp. 259-333.

181. Incluido en Eduardo Vincenti y Reguerra, *Política pedagógica: Treinta años de vida parlamentaria* (Imprenta Hijos de Hernández, Madrid 1916); citado en Ivonne Turín, *L'éducation et l'école en Espagne de 1874 a 1902: Liberálisme et tradition* (Presses Universitaires, París 1959), p. 375.

182. José Rodríguez Carracido, contestación al discurso de ingreso de Juan Fajes Virgili en la Real Academia de Ciencias: *Los químicos de Vergara y sus obras* (Real Academia de Ciencias, Madrid 1909), p. 113.

183. Sobre esta Junta, véase J. M. Sánchez Ron, coord., *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después, op. cit.*

184. Este laboratorio tuvo un éxito especial y logró que el nivel de la física y química-física hispanas mejoraran sustancialmente. Lo dirigió Blas Cabrera, que trabajó en magnetismo, y entre sus miembros más destacados se encontraban el espectroscopista Miguel Catalán, que descubrió los multipletes, y el químico físico Enrique Moles. La importancia de los trabajos realizados allí llevó a la International Educational Board de la Fundación Rockefeller a conceder 420.000 dólares para construir un nuevo laboratorio, mejor dotado. El nuevo centro abrió sus puertas el 6 de febrero de 1932, bajo el nombre de Instituto Nacional de Física y Química. Asistieron a la inauguración científicos extranjeros que mantenían relaciones con investigadores del antiguo laboratorio: Arnold Sommerfeld, Otto Hönigschmidt y el químico orgánico Richard Willstätter viajaron desde Múnich, Paul Scherrer y Pierre Weiss lo hicieron desde Zúrich. Sobre estas cuestiones, véase José M. Sánchez Ron y Antoni Roca-Rosell, «Spain's first school of physics: Blas Cabrera's Laboratorio de Investigaciones Físicas», *Osiris 8*, 127-155 (1993); José M. Sánchez Ron, *Miguel Catalán. Su obra y su mundo* (Fundación Menéndez Pidal/Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1994); José M. Sánchez Ron, «International relations in Spanish physics from 1900 to the Cold War», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 33*, 3-31 (2002).

1. En la carta decimocuarta de sus *Lettres Concerning the English Nation* (Londres 1733; el original francés apareció el año siguiente en Amsterdam bajo el título *Lettres philosophiques*), el filósofo francés François Marie Arouet, más conocido como Voltaire (1694-1778), gran defensor de Newton, escribió refiriéndose a las fuerzas mediante acciones a distancia que caracterizan la física newtoniana, frente a las fuerzas vorticiales por contacto cartesianas: «Un francés que llega a Londres encuentra las cosas muy cambiadas en filosofía como en todo lo demás. Ha dejado el mundo lleno, aquí lo encuentra vacío. En París se considera al universo compuesto de materia sutil, en Londres no hay nada de esto. Entre nosotros, es la presión de la Luna la causa del flujo del mar; entre los ingleses, es el mar quien gravita hacia la Luna, de manera que, cuando creeríais que la Luna debería daros marea alta, estos señores creen que debe dar marea baja; lo que, desgraciadamente, no puede verificarse pues hubiera sido preciso, para aclararse, examinar la Luna y las mareas desde el primer momento de la creación». Y más adelante, en la misma carta, añadía: «Muy pocas personas en Londres leen a Descartes, cuyas obras se han convertido, efectivamente, en inútiles; análogamente, muy pocos leen a Newton, ya que es preciso ser muy sabio para entenderlo; no obstante, todo el mundo habla de ellos; no se concede nada al francés y se otorga todo al inglés». Voltaire, *Cartas inglesas* (Ediciones Felmar, Madrid 1975), pp. 93, 97. Voltaire estuvo exiliado en Londres desde 1726 hasta 1728.

2. «La ambición es perniciosa en una República», leemos en este texto de Montesquieu, «por el contrario, en la Monarquía produce buenos efectos: da vida a este tipo de gobierno y tiene la ventaja de no ser peligrosa porque se puede reprimir constantemente. Puede decirse que ocurre aquí lo mismo que en el sistema del Universo, en el que una fuerza aleja de su centro a todos los cuerpos y otra, la de la gravedad, los atrae.» Montesquieu, *Del espíritu de las leyes* (Tecnos, Madrid 1985), Libro III, capítulo VII, p. 23. Fue I. Bernard Cohen quien alertó sobre este aspecto de la obra de Montesquieu en su libro: *Revolutions on Science* (The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1985), p. 175.

3. Véase I. Bernard Cohen, *Science and the Founding Fathers. Science in the Political Thought of Thomas Jefferson, Benjamin Franklin, John Adams and James Madison* (W. W. Norton, Nueva York 1995). También Betty Jo Teeter Dobbs y Margaret C. Jacob, *Newton and the Culture of Newtonianism* (Humanities Press, New Jersey 1995).

4. Charles Darwin, *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* (Akal, Madrid 1997), vol. II, pp. 185-189.

5. *The Correspondence of Charles Darwin*, vol. 3 («1844-1846»), Frederick Burkhardt y Sydney Smith, eds. (Cambridge University Press, Cambridge 1987), p. 2.

6. He utilizado la traducción al español, de Antonio de Zulueta, de la sexta edición (1872): Charles Darwin, *El origen de las especies*(Espasa Calpe, Madrid 1988), pp. 114-115.

7. *Ibid.*, pp. 129-130.

8. Los pasajes de estas cartas aparecen en Frederick Burkhardt, *Cartas de Darwin (1825-1859)* (Cambridge University Press, Madrid 1999), que contiene una selección de cartas publicadas en diferentes tomos de *The Correspondence of Charles Darwin*.

9. Debido a la naturaleza del presente libro, en el que Darwin aparece en relación con el poder de su teoría evolucionista, no me he detenido a estudiar apartados que en otra obra sería obligado detallar: como la influencia en Darwin de las teorías geológicas de Charles Lyell (1797-1875), o el que Alfred Russel Wallace (1823-1913) llegase independientemente de él a la misma idea de la evolución de las especies mediante selección natural.

10. El término «evolución», en la actualidad asociado a la teoría de Darwin, no aparecía en la primera edición de *On the Origin*. Darwin lo empleó por primera vez en otro de sus clásicos, *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (*El origen del hombre, y la selección con relación al sexo*; 1871), y en la sexta (y última) edición de *El origen* (1872), la misma en la que se eliminó el adverbio *On* del título, con lo que se acentuaba la pretensión de carácter definitivo.

11. Citada en Thomas Henry Huxley, *Life and Letters of Thomas Henry Huxley* (Macmillan, Londres 1900), vol. 1, pp. 186-187.

12. Charles Darwin, *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, 2 vols. (John Murray, Londres 1871), vol. II, pp. 404-405. He utilizado la siguiente traducción al español: Charles Darwin, *El origen del hombre* (Biblioteca E.D.A.F., Madrid 1972), p. 517.

13. Johann Gregor Mendel, «Versuche über Pflanzen-Hybriden», *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn 4* (1865).

14. En realidad, para explicar la selección natural se necesita algo más que una teoría elemental de la herencia. De Vries manejó la idea de que las variaciones se producen debido a mutaciones genéticas, concluyendo que una nueva especie se origina de repente, a partir de una especie ya existente, sin preparación visible y sin transición. Pero desde este punto de vista, la selección natural podía perder muchas de sus funciones. De hecho, la integración de la genética —clásica y molecular— con la selección natural ha sido, y continúa siendo, un proceso, un programa de investigación, complejo y desde luego todavía abierto. Utilizando técnicas de análisis de poblaciones, genéticos teóricos como Ronald A. Fischer (1890-1962) —que en 1930 publicó un libro básico: *The Genetical Theory of Natural Selection* (*Teoría genética de la selección natural*)—, demostraron matemáticamente que la selección natural puede producir, actuando acumulativamente sobre pequeñas poblaciones, cambios evolutivos importantes en la forma y la función. Naturalistas como Julian Huxley (1887-1975) y Ernst Mayr (1904-2005) se interesaron por problemas de biogeografía y reivindicaron lo adecuado de las conclusiones que Darwin había extraído de sus estudios en las islas Galápagos; sus libros, *Evolution, the Modern Synthesis* (*Evolución, la síntesis moderna*), de Huxley, y *Systematics and the Origin of Species* (*Sistemática y el origen de las especies*), de Mayr (ambos aparecieron en 1942), son considerados como dos clásicos en la fundación de la moderna forma sintética del evolucionismo, también denominada, simplemente, teoría sintética o síntesis evolutiva, en la que se subraya el papel de la selección natural, la adaptación y el estudio de la diversidad. Otra contribución básica es el libro de Theodosius Dobzhansky (1900-1975), *Genetics and the Origin of the Species* (*Genética y el origen de las especies*; 1937).

15. W. Liebknecht, *Karl Marx: Biographical Memoirs* (Chicago 1901), pp. 91-92; citado en Diane B. Paul, «Darwin, social Darwinism and eugenics», en Jonathan Hodge y Gregory Radick, eds., *The Cambridge Companion to Darwin* (Cambridge University Press, Cambridge 2003), pp. 214-239; p. 231. Sobre la difusión de las ideas darwinistas, véase también *The Comparative Reception of Darwinism,* Thomas F. Glick, ed. (The University of Chicago Press, Chicago 1988, segunda edición).

16. David G. Ritchie, *Darwinism and Politics* (Swan Sonnenschein, Londres 1889), pp. 1-2.

17. La recepción de las teorías de Darwin en España se tratan, por ejemplo, en Diego Núñez, *El darwinismo en España* (Castalia, Madrid 1977), y Thomas F. Glick, *Darwin en España* (Península, Barcelona 1982).

18. José Rodríguez Carracido, «La doctrina de la evolución en la Universidad de Santiago. (Un recuerdo de mi vida estudiantil)», reproducido en J. Rodríguez Carracido, *Estudios histórico-críticos de la ciencia española* (Imprenta Alrededor del Mundo, Madrid 1917), pp. 273-275.

19. El nombre, Ley Butler, es en recuerdo del novelista Samuel Butler (1835-1902), un feroz opositor a las ideas de Darwin.

20. Citado en Richard Milner, *Diccionario de la evolución* (Vox-Biblograf, Barcelona 1995), p. 104.

21. *Ibid.*, pp. 563-564.

22. Publicado inicialmente en *Discoverer Magazine*, mayo de 1981. Incluido en Stephen Jay Gould, *Dientes de gallina y dedos de caballo* (Crítica, Barcelona 1995; primera edición en inglés de 1983), pp. 215-222; p. 215. Véase, asimismo, «Una visita a Dayton», *ibid.*, pp. 223-236, «Moon, Mann y Otto», *ibid.*, pp. 237-245.

23. *Ibid.*, p. 216.

24. De hecho, el propio Gould, junto a Niles Eldredge, propuso en 1972, como ya mencioné, una teoría evolucionista diferente a la de Darwin, la «teoría del equilibrio puntuado», en la que, frente al gradualismo darwiniano, se argumenta que las nuevas especies surgen «repentinamente» (en un sentido geológico). N. Eldredge y S. J. Gould, «Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism», en T. J. M. Schopf, ed., *Models in Paleobiology* (Freeman and Cooper, San Francisco 1972), pp. 82-115.

25. Stephen Jay Gould, «La última campaña de William Jennings Bryan», en *«Brontosaurus» y la nalga del ministro* (Crítica, Barcelona 2005; primera edición en inglés de 1991), pp. 477-495; pp. 494-495.

26. «Creationism in schools: the decision in McLean versus the Arkansas Board of Education», *Science 215*, 934-943 (19 de febrero de 1982).

27. El texto completo de esta decisión se puede consultar en internet. «Case 4:04cv-02688-JEJ. Document 342. Filed 12/20/2005. Memorandum Opinion. December 20, 2005. The United States District Court for the Middle District of Pennsylvania», 129 pp.

1. Laín Entralgo destacó acertadamente la dimensión de la medicina a la que me estoy refiriendo cuando escribió: «Además de ser profesión, la medicina es —en una u otra medida, de uno u otro modo— saber científico, ciencia. En sí misma, la medicina no es ciencia pura, *epistéme*, sino ciencia aplicada, y por tanto, *tekhné*. El médico es médico no en cuanto "conoce", sino en cuanto "trata"; pero sus tratamientos no serían correctos si no se fundasen sobre un conocimiento científico —más o menos acabado, más o menos correcto— de lo que en realidad son la enfermedad y el enfermo. Todo un conjunto de ciencias puras —morfológicas, fisiológicas, psicológicas, sociológicas— deben dar fundamento a la ciencia aplicada, esto es, a la técnica diagnóstica y terapéutica del médico». Pedro Laín Entralgo, *Ciencia, técnica y medicina* (Alianza Editorial, Madrid 1986), p. 31.

2. Galeno, *Sobre la localización de las enfermedades* (Editorial Gredos, Madrid 1997), pp. 255-256.

3. Tabla tomada de Carlo M. Cipolla, *Historia económica de la población mundial* (Crítica, Barcelona 1978; edición original en inglés de 1978), p. 129.

4. William H. McNeill, *Plagas y pueblos* (Siglo XXI, Madrid 1984; edición original en inglés de 1976), pp. 278-279.

5. En lo que sigue he utilizado en algunas secciones materiales del capítulo 5 de José M. Sánchez Ron, *El jardín de Newton* (Crítica, Barcelona 2001).

6. Claude Bernard, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (1878). He utilizado la versión inglesa: Claude Bernard, *Lectures on the Phenomena of Life Common to Animals and Plants* (Charles C. Thomas, Springfield, III. 1974), p. 7.

7. François Magendie, *Précis élémentaire de physiologie* (1816). Sobre la historia de la fisiología en Francia, véase John E. Lesch, *Science and Medicine in France: The Emergence of Experimental Physiology, 1790-1855* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1984).

8. Véase, por ejemplo, Johannes Müller, *Handbuch der Physiologie des Menschen*, tercera edición, vol. I (1838).

9. José Gómez Ocaña, *Fisiología humana, teórica y experimental* (Imprenta y Librería de Nicolás Moya, Madrid 1904), tercera edición, p. 14.

10. J. Müller, *Handbuch der Physiologie des Menschen*, *op. cit.* He utilizado un resumen de dicho tratado vertido al castellano por Francisco Álvarez y Nicolás Casas: *Compendio de Fisiología de J. Muller* (1847).

11. Hermann von Helmholtz, «The application of the law of the conservation of energy», *Proceedings of the Royal Institute 3*, 347-357 (1861); reproducido en *Selected Writings of Hermann von Helmholtz*, Russell Kahl, ed. (Wesleyan University Press, Middletown, Connecticut 1971), pp. 109-121; pp.120-121.

12. Aunque Helmholtz empleó la palabra *kraft*, esto es, «fuerza», su significado es el mismo que nuestra «energía». Ya hablé de esta aportación de Helmholtz en la nota 34 del capítulo 2.

13. Debido a la diversidad de orígenes y aplicaciones del principio de conservación de la energía, no es sorprendente que a él llegasen, por caminos diferentes, personajes diversos. Si existen casos de «descubrimientos simultáneos» éste es uno de ellos. Entre 1842 y 1847, cuatro científicos, Julius Robert Mayer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889), Ludvig Colding (1815-1888) y, naturalmente, el propio Helmholtz, hicieron pública, de manera independiente, la hipótesis de la conservación de la energía.

14. H. von Helmholtz, «Autobiographisches. Tischrede bei der Feier des 70. Geburtstages» (1891), reproducido (traducido al inglés: «An autobiographical sketch») en *Selected Writings of Hermann von Helmholtz*, *op. cit.*, pp. 466-478; pp. 472-473.

15. Sobre Bernard, véanse, por ejemplo, Frederic L. Holmes, *Claude Bernard and Animal Chemistry. The Emergence of a Scientist* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1974), James M. D. Olmsted, *Claude Bernard: Physiologist* (Harper, Nueva York 1946), y Pedro García Barreno, «Prólogo», a Claude Bernard, *Introducción al estudio de la medicina experimental*, edición de Pedro García Barreno (Crítica, Barcelona 2005), pp. 9-154.

16. Albert Einstein, «H. A. Lorentz», *Mathematisch-naturwissenschaftliche Blätter 22*, 24-25 (1928); p. 24. Versión en español en A. Einstein, *Obra esencial*, José M. Sánchez Ron, ed. (Crítica, Barcelona 2005), pp. 101-103; p. 101.

17. Henri Bergson, fragmentos del discurso que pronunció en la Academia Francesa el 30 de diciembre de 1913, con motivo del centenario de Claude Bernard (publicado en *La pensée et le mouvant*); Louis Pasteur, «Claude Bernard, idea de la importancia de sus trabajos, de enseñanza y de su método», *Le Moniteur Universal* (noviembre de 1866). Estos escritos de Bergson y Pasteur se reproducen en Claude Bernard, *El método experimental y otras páginas filosóficas* (Espasa-Calpe, Buenos Aires 1947), pp. 198-199 y 191-192.

18. C. Bernard, *Introducción al estudio de la medicina experimental*, edición de P. García Barreno, *op. cit.*, pp. 157-158.

19. *Ibid.*, pp. 158-159.

20. *Ibid.*, pp. 229-231.

21. *Ibid.*, pp. 329-330.

22. *Ibid.*, pp. 336-337.

23. William Coleman y Frederic L. Holmes, «Introduction», en *The Investigative Enterprise. Experimental Physiology in Nineteenth-Century Medicine*, W. Coleman y F. L. Holmes, eds. (University of California Press, Berkeley 1988), pp. 1-14; pp. 8-9.

24. A continuación sigo de cerca la exposición de A. Zloczower, *Career Opportunities and the Growth of Scientific Discovery on 19th Century Germany, with Special Reference to Physiology* (The Hebrew University of Jerusalem/The Eliezer Kaplan School of Economics and Social Sciences 1981; reeditada por Arno Press, Nueva York 1981).

25. Bruno Kisch, *Forgotten Leaders in Modern Medicine* (Filadelfia 1954), p. 174; citado en A. Zloczower, *Career Opportunities and the Growth of Scientific Discovery on 19th Century Germany*, *op. cit.*, p. 90.

26. *Two Great Scientists of the Nineteenth Century. Correspondence of Emil du Bois-Reymond and Carl Ludwig*, Estelle Du Bois-Reymond, ed. (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1982), pp. 97-98.

27. Como indiqué con anterioridad, en 1855 Helmholtz aceptó una cátedra de Anatomía y Fisiología en la Universidad de Bonn, y en 1858 una de Fisiología en Heidelberg.

28. A. Zloczower, *Career Opportunities and the Growth of Scientific Discovery on 19th Century Germany*, *op. cit.*, p. 7.

29. Sobre Virchow, véase la biografía que le dedicó el eminente historiador de la medicina Erwin H. Ackerknecht, *Rudolf Virchow. Doctor. Statesman. Anthropologist* (The University of Wisconsin Press, Madison 1953).

30. El desarrollo decimonónico de la teoría celular fue para las ciencias de la vida lo que la teoría atómica fue para la física y la química. Y es curioso constatar que también fue en el siglo XIX, en *A New System of Chemical Philosophy* (1808-1810, 1827), cuando John Dalton (1766-1844) propuso que todos los cuerpos están constituidos por unas partículas de dimensiones muy reducidas, llamadas átomos, de diferentes pesos, que determinaban su identidad —idea de la que dedujo resultados tan importantes para la química como la ley de las proporciones múltiples—, con lo que inauguró la era del atomismo moderno.

31. He utilizado la versión inglesa: Rudolf Virchow, *Cellular Pathology, as Based upon Physiological and Pathological Histology* (John Churchill, Londres 1860), pp. 13-14.

32. *Ibid.*, p. 13.

33. *Ibid.*, p. 16.

34. He utilizado la versión inglesa: Rudolf Virchow, «Public health services», en *Collected Essays on Public Health and Epidemiology*, vol. 1 (Science History Publications, Canton, Massachusetts 1985), pp. 14-16; p. 15.

35. Aquí, Virchow incluía la siguiente nota a pie de página: «El nuevo borrador constitucional francés otorga a los ciudadanos el "derecho a la asistencia", definido como sigue: "Celui qui appartient aux enfants abandonés, aux infirmes et aux vieillards, de reçevoir de l'état les moyens d'exister"» («El que pertenece a los niños abandonados, a los enfermos y a los ancianos, de recibir del Estado los medios para existir»).

36. R. Virchow, «Public health services», *op. cit.*, p. 26.

37. La famosa frase aparece en el siguiente párrafo: «En una fase superior de la sociedad comunista, cuando haya desaparecido la subordinación que esclaviza a los individuos a la división del trabajo, y con ella, el contraste entre el trabajo intelectual y el trabajo manual; cuando el trabajo no sea solamente un medio de vida, sino la primera necesidad vital; cuando, con el desarrollo de los individuos en todos sus aspectos, crezcan también las fuerzas productivas y corran a chorro lleno los manantiales de la riqueza colectiva, sólo entonces podrá rebasarse totalmente el estrecho horizonte del derecho burgués y la sociedad podrá escribir en sus banderas: ¡De cada cual, según sus capacidades; a cada cual según sus necesidades!». Karl Marx, «Glosas marginales al programa del Partido Obrero Alemán», en Carlos Marx y Federico Engels, *Crítica del Programa de Gotha. Crítica del Programa de Erfurt* (Fundación Federico Engels, Madrid 2004), pp. 23-46; pp. 30-31.

38. Citado en E. H. Ackerknecht, *Rudolf Virchow. Doctor. Statesman. Anthropologist*, *op. cit.,* p. 44.

39. R. Virchow, «The charity physician», en *Collected Essays on Public Health and Epidemiology*, *op. cit.*, pp. 33-36; p. 33.

40. Louis Pasteur, «Mémoire sur la fermentation appelée lactique», *Mémoires de la Societé des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille 5*, 13-26 (1858), *Annales de Chimie et de Physique 52,* 408-418 (1858); reproducido en *Oeuvres de Pasteur*, vol. II (Masson, París 1922), pp. 3-13; p. 3. Existe traducción al español: L. Pasteur, «Memoria sobre la fermentación llamada láctica», en *Pasteur*, María José Báguena y Eugenio Portela, eds. (Península, Barcelona 1988), pp. 60-70; p. 60.

41. *Pasteur. Correspondance*, Pasteur Vallery-Radot, ed., vol. 2 (*1840-1895*) (Flammarion, París 1951), pp. 174-175.

42. Louis Pasteur, «Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées», *Annales des sciences naturelles (partie zoologique) 16*, 5-98 (1861), *Annales de chimie et de physique 64*, 5-110 (1862); reproducido en *Oeuvres de Pasteur*, vol. II, *op. cit.*, pp. 210-294.

43. Louis Pasteur, «Des générations spontanées», *Revue des cours scientifiques 1*, 257-265 (1863-1864); reproducido en *Oeuvres de Pasteur*, vol. II, *op. cit.*, pp. 328-346; p. 346. Versión en español en *Pasteur*, Ma. J. Báguena y E. Portela, eds., *op. cit.*, pp. 127-143; p. 143.

44. Louis Pasteur, con la colaboración de J. F. Jouvert y Ch. Chamberland, «La théorie des germes et ses applications à la médicine et à la chirurgie», *Comptes rendus de l'Académie des sciences 86*, 1037-1043 (1878); *Bulletin de l'Académie de médicine 7*, 432-453 (1878); reproducido en *Oeuvres de Pasteur*, vol. VI (Masson, París 1933), pp. 112-130; p. 112. Versión en español («La teoría de los gérmenes y sus aplicaciones a la medicina y a la cirugía») en *Pasteur*, Ma. J. Báguena y E. Portela, eds., *op. cit.*, pp. 220-234; p. 220.

45. Casimir Davaine, «Recherches sur les infusoires du sang dans la maladie connue sous le nom de “sang de rate”», *Comptes rendus de l’Académie des sciences 57*, 220, 351, 386 (1863).

46. C. Sedillot, «De l'influence des découvertes de M. Pasteur sur les progrés de la chirurgie», *Comptes rendus de l'Académie des sciences 86*, 634-540 (1878).

47. Louis Pasteur, «Sur l'étiologie de l'affection charbonneuse» (en colaboración con Charles Chamberland y Émile Roux), *Bulletin de l'Académie de Médicine 8*, 1063-1065 (1879). He utilizado la versión española («Sobre la etiología de la afección carbuncosa») que se encuentran en *Pasteur*, Ma. J. Báguena y E. Portela, eds., *op. cit.*, pp. 214-216; pp. 214-215.

48. Robert Koch, «Die Aetiologie der Tuberculose», *Berliner klinische Wochenschrift 19*, 221-230 (1882).

49. Robert Koch, «Über bakteriologischen Forschung», *X Internationalen Medizinischen Kongresses* (Berlín 1891), vol. 1, p. 35-47. He utilizado la traducción al español, que se encuentra en Robert Koch, *La etiología de la tuberculosis y otros trabajos* (Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires 1965), pp. 87-108; pp. 87-89.

50. *Ibid.*, pp. 102-104.

51. He utilizado la versión en inglés accesible en la página web de la Fundación Nobel (Nobelprize.org), Robert Koch, «The current state of the struggle against tuberculosis».

52. Josep Lluís Barona Vilar, *Salud, tecnología y saber médico* (Editorial Universitaria Ramón Areces, Madrid 2004), p. 95.

53. Este dato y los que siguen han sido señalados por Esteban Rodríguez Ocaña en *Por la salud de las naciones. Higiene, microbiología y medicina social* (Akal, Madrid 1992), p. 42.

54. Recordemos que Ronald Ross (1857-1932) recibió el premio Nobel de Medicina o Fisiología de 1902 por sus trabajos sobre el paludismo.

55. John Snow, *On the Mode of Communication of Cholera* (1849); reproducido parcialmente en *Source Book of Medical History*, Logan Clendening, ed. (Dover, Nueva York 1960), pp. 468-473.

56. Joseph Lister, «On the Antiseptic Principle of the Practice of Surgery», *British Medical Journal* (1867); reproducido en *Source Book of Medical History*, L. Clendening, ed., *op. cit.*, pp. 615-621; p. 615.

57. *Ibid.*, pp. 616.

58. No estudio aquí los antisépticos específicos que Lister introdujo. Únicamente señalaré que reaccionó ante los descubrimientos de Koch y Pasteur —especialmente de éste— mejorándolos notablemente después de 1879, momento en que se produjo una transición en los trabajos del médico inglés. Véase en este sentido, Jerry L. Gaw, *A Time to Heal. The Diffusion of Listerism in Victorian Britain* (American Philosophical Society, Filadelfia 1999), especialmente pp. 124-125.

59. L. Pasteur, con la colaboración de J. F. Jouvert y Ch. Chamberland, «La théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chirurgie», *op. cit.*; *Pasteur*, Ma. J. Báguena y E. Portela, eds., *op. cit.*, pp. 229-230. Este artículo es uno de los que más influyó en la transición de Lister que he mencionado.

60. *Ibid.*, p. 234.

61. C. Sedillot, «De l'influence des découvertes de M. Pasteur sur les progrés de la chirurgie», *op. cit.*

62. *Pasteur. Correspondance*, Pasteur Vallery-Radot, ed., vol. 4 (*1885-1895*) (Flammarion, París 1951), pp. 94-95. Horsley viajó a París en 1886, como secretario de una Comisión establecida por el gobierno británico para estudiar los procedimientos de Pasteur en la inmunización contra la rabia. Los experimentos que posteriormente realizó Horsley confirmaron el descubrimiento y método de Pasteur, como señaló en un informe posterior.

63. Louis Pasteur, «Résultats de l'application de la méthode pour prévenir la rage après morsure», *Oeuvres de Pasteur*, vol. VI, *op. cit.*, pp. 612-622.

64. Se utilizaba la sangre de caballos inmunizados contra la difteria para extraer el suero antidiftérico.

65. Citado en Bruno Latour, *Pasteur, una ciencia, un estilo, un siglo* (Siglo XXI, México 1995; edición original en francés de 1994), p. 205. Recordemos que la seroterapia es el tratamiento de las enfermedades con sueros medicinales.

66. Gerald L. Geison, *The Private Science of Louis Pasteur* (Princeton University Press, Princeton 1995), p. 263.

67. No he encontrado este lugar en los atlas que he consultado. Sí, sin embargo, una población de nombre «Pasteur» en Argentina.

68. En 1884, Ferrán había sido comisionado por el Ayuntamiento de Barcelona para estudiar la epidemia de cólera que había brotado en la Provenza francesa. Allí, acompañado por el químico Inocente Paulí, colaborador suyo, aisló y cultivó el vibrión colérico identificado por Koch. A su regreso a Tortosa, donde trabajaba entonces como médico, conservó este vibrión, elaborando a partir de él una vacuna con gérmenes vivos, no atenuados. Inoculó con ella a unas 50.000 personas de la región valenciana. Sin embargo, la vacuna de Ferrán fue muy controvertida y su aplicación terminó por ser prohibida por orden gubernativa. De él dijo el célebre Paul Ehrlich (1854-1915), recordado especialmente por haber descubierto un tratamiento (el *salvarsan*, el arsénico que salva) contra la sífilis: «Considero principalmente al doctor Ferrán como el científico que ha conseguido en primer lugar la inmunización activa del hombre por bacterias de una forma admirable y con un objetivo determinado»; carta de Ehrlich a Juan Sol Ortega (*ca.* 1910), citada en José María López Piñero, *Santiago Ramón y Cajal* (Publicacions de la Universitat de València, Valencia 2006), p. 192.

69. La historia de esta institución se narra en Antoni Roca i Rosell, *Història del laboratori municipal de Barcelona de Ferran a Turró* (Ajuntament de Barcelona, Barcelona 1988).

70. La Diputación quedó tan satisfecha con el trabajo de Cajal que le regalaron un espléndido microscopio Zeiss. «Al recibir aquel impensado obsequio», escribió en sus *Recuerdos*, «no cabía en mí de satisfacción y alegría. Al lado de tan espléndido *Statif*, con profusión de objetivos, entre otros el famoso 1,18 de *inmersión homogénea*, última palabra entonces de la técnica amplificante, mi pobre microscopio Verick parecía desvencijado cerrojo. Me complazco en reconocer que, gracias a tan espiritual agasajo, la culta Corporación aragonesa cooperó eficacísimamente a mi futura labora científica, pues me equiparó técnicamente con los micrógrafos extranjeros mejor instalados, permitiéndome abordar, sin recelos y con la debida eficiencia, los delicados problemas de la estructura de las células y del mecanismo de su multiplicación». Santiago Ramón y Cajal, *Recuerdos de mi vida*, 3a. edición (Imprenta de Juan Pueyo, Madrid 1923), p. 179.

71. *Ibid.*

72. Emil von Behring (1854-1917) recibió el primer premio Nobel (1901) de Medicina o Fisiología por sus contribuciones a la seroterapia.

73. Federico Rubio fue un médico progresista muy comprometido a lo largo de su carrera con la política. Recuerdo este detalle por lo que con anterioridad dije a propósito de Virchow de la relación entre medicina y política. Sobre Rubio véase, por ejemplo, Ricardo Campos Marín, *Curar y gobernar. Monlau. Rubio. Giné. Medicina y liberalismo en la España del siglo XIX* (Nivola, Madrid 2003).

1. No todos, por supuesto. Rousseau, por ejemplo, era antifeminista.

2. Citado en Antonio Torres del Moral, «Introducción» a Condorcet, *Bosquejo de un cuadro histórico de los progresos del espíritu humano* (Editora Nacional, Madrid 1980), pp. 9-78; p. 32.

3. Richard J. Evans, *Las feministas. Los movimientos de emancipación de la mujer en Europa, América y Australasia, 1840-1920* (Siglo XXI, Madrid 1980 original inglés de 1977), pp. 15-16. Véase, asimismo, la introducción de Alice S. Rossi («Prestige from the other sex») que acompaña a una versión abreviada de *The Subjection of Women; The Feminist Papers. From Adams to de Beauvoir,* A. S. Rossi, ed. (Northeastern University Press, Boston 1988; primera edición de 1973), pp. 183-196.

4. José Echegaray, «Influencia del estudio de las Ciencias Físicas en la educación de la mujer», octava conferencia (11 de abril de 1869) de las Conferencias dominicales sobre la educación de la mujer (Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra, Madrid 1869).

5. Estudios que incluyen información de otros países o presentaciones más generales son, por ejemplo, *Uneasy Careers and Intimate Lives. Women in Science, 1789-1979*, Pnina G. Abir-Am y Dorinda Outram, eds. (Rutgers University Press, New Brunswick 1987); Margaret Alic, *Hypatia's Heritage. A History of Women in Science from Antiquity to the Late Nineteenth Century* (The Women's Press, Londres 1986); Ann Hibner Koblitz, «Science, women, and the Russian intelligentsia. The generation of the 1860s», *Isis 79,* 208-226 (1988); Stephen G. Brush, «Women in the physical sciences: from drudges to discoverers», *The Physics Teacher,* enero de 1985, pp. 11-19, «Women in science and engineering», *American Scientist 79,* 404-419 (1991). Véase, asimismo, los distintos trabajos incluidos en Sally Gregory Kohlstedt y Helen E. Longino, eds., *Women, Gender, and Science. New Directions*, *Osiris 12* (1997).

6. En Manchester también pudieron entrar en la universidad aproximadamente al mismo tiempo que en Londres. De hecho, la admisión de estudiantes femeninas coincidió con la concesión, en 1880, de la carta universitaria al Owens College de Manchester, que pasó a convertirse en la Universidad Victoria.

7. Para más detalles, consúltese Negley Harte, *The University of London, 1836-1986* (The Atholone Press, Londres 1986) y F. M. L. Thompson, ed., *The University of London and the World of Learning, 1836-1986* (The Hambledon Press, Londres 1990); de esta última obra véase, en especial, F. M. L. Thompson, «Introduction» y G. Sutherland, «The plainest principles of justice: The University of London and the higher education of women», pp. 35-56. Información acerca de la situación de las mujeres en todo el Reino Unido, no sólo en lo que a educación se refiere sino también en el aspecto laboral, se puede encontrar en Edward Royle, *Modern Britain. A Social History, 1750-1985* (Edward Arnold, Londres 1987).

8. La admisión de la mujer en la profesión médica fue uno de los objetivos primordiales del feminismo moderado en casi todas partes. Muchos médicos no tenían un conocimiento adecuado de la fisiología femenina y a muchas mujeres les resultaba violento someterse a un examen médico por un hombre. R. J. Evans, *Las feministas, op. cit.,* pp. 54-55. Sobre las mujeres y la profesión médica, véase Thomas N. Bonner, *To the Ends of the Earth. Women's Search for Education in Medicine* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1992).

9. Garret (1836-1917) pudo, sin embargo, resolver su problema a través de la Society of Apothecaries (Sociedad de Boticarios), que en 1865 la reconoció como médico, la segunda mujer en lograr semejante reconocimiento en Inglaterra. Fue una destacada activista en favor del derecho de la mujer a acceder a la educación superior. Entre 1883 y 1903 fue *dean* (directora) de la London School of Medicine for Women (Escuela de Medicina de Londres para Mujeres).

10. En realidad no de manera completa, ya que su Facultad de Medicina se resistió hasta 1917.

11. Sophie Bryant (1850-1922) se dedicó a la enseñanza secundaria; fue directora (*headmistress*) del North London Collegiate School entre 1895 y 1918, y también la primera mujer en ser miembro del Senado de la Universidad de Londres (entre 1900 y 1907).

12. Los datos que siguen están tomados de «The amount and distribution of income (other than wages) below the income-tax exemptions limit in the United Kingdom. Report of the Committee, consisting of Professors E. Cannan, A. L. Bowley, F. Y. Edgeworth and H. B. Lees Smith, and Dr. W. R. Scott», *Report of the Eightieth Meeting of the British Association for the Advancement of Science (Sheffield: 1910)* (John Murray, Londres 1911), pp. 170-199; p. 173.

13. J. J. Thomson, *Recollections and Reflections* (G. Bell and Sons, Londres 1936), p. 84.

14. El Senado de la universidad estaba formado por todos aquellos que habían obtenido en el pasado un título en Cambridge.

15. En lo que a Oxford se refiere, diré que en 1877 tuvo lugar el primer examen especial (esto es, separado del de los hombres) para mujeres. En 1879 se fundaron dos colleges femeninos (Lady Margaret Hall y Somerville), al igual que otro centro que con el tiempo se convertiría en un college, con el nombre de St. Anne's.

16. Sobre este punto, véase Silvanus P. Thompson, *The Life of William Thomson* (Macmillan, Londres 1910), p. 996.

17. Las estadísticas que siguen han sido tomadas de B. R. Mitchell, *British Historical Statistics* (Cambridge University Press, Cambridge 1988).

18. La secuencia es quinquenal, salvo en los años de la Segunda Guerra Mundial, en que doy más datos para observar cómo varió la asistencia de los dos sexos durante aquellos años.

19. La referencia básica en este tema es Margaret W. Rossiter, *Women Scientists in America. Struggles and Strategies to 1940* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1982).

20. En 1870, Myra Bradwell dirigió una instancia al Tribunal Supremo del estado de Illinois pidiendo permiso para ejercer la abogacía. El Tribunal puso objeciones, pero en 1873 la legislatura del estado promulgó una ley que declaraba que «ninguna persona será excluida de una ocupación, profesión o empleo (con la excepción del militar) por razones de sexo (a condición de que no se interprete que este decreto pudiera afectar a la elegibilidad de una persona a un cargo electivo)». En 1880 una mujer había sido elegida miembro del Tribunal Supremo de los Estados Unidos.

21. W. Fleming, «A field for woman's work in Astronomy», *Astronomy and Astrophysics 12*, 688-689 (1893). Citado en Margaret W. Rossiter, «"Women's work" in science. 1880-1910», *Isis 71,* 381-398 (1980).

22. Citado en R. Reid Sadger, «Chicago 1893. World's Columbian Exposition», en *Historical Dictionary of World's Fairs and Exhibitions, 1851-1988,* John E. Findling, ed. y Kimberly D. Pelle, asist. ed. (Greenwood Press, Nueva York 1990), pp. 122-132; p. 129.

23. M. Rossiter, *Women Scientists in America, op. cit*. p. 11.

24. Los primeros doctorados a mujeres en Estados Unidos datan de finales de la década de 1870. Hacia 1889, diez colleges y universidades habían otorgado 25 títulos de doctor a mujeres; de estos 25, ocho eran de ciencias. En 1900 la cifra había subido a 204. Walter Crosby Eells, «Earned doctorates for women in the nineteenth century», *Bulletin of the American Association of University Professors 42,* 647-651 (1956).

25. Lindsay Harmon y Herbert Soldz, eds., *Doctorate Production in United States Universities, 1920-1962* (National Academy of Sciences/ National Research Council Publications, Washington, D. C. 1963), pp. 50-51. «Bioquímica» aparece bajo el epígrafe de «Química», y «Astronomía» bajo el de «Física».

26. En 1905, 52 mujeres obtuvieron el *baccalauréat* en la región parisina; entre 1911 y 1914 la media anual fue de trescientas. Acerca de las mujeres en las universidades francesas, consúltese George Weisz, *The Emergence of Modern Universities in France, 1863-1914* (Princeton University Press, Princeton 1983), especialmente pp. 241-248.

27. En Alemania la situación era muy diferente. Incluso después de que las puertas de las universidades se abrieran (no totalmente, cierto es; véase nota 30) para las estudiantes germanas, en 1911 todavía Jena no admitía extranjeras y en Tubinga sólo lo hacía en algunos cursos, con autorización del profesor.

28. Tomada de G. Weisz, *The Emergence of Modern Universities in France, 1863-1914, op. cit.,* p. 242.

29. *Ibid.*

30. En 1914 las estudiantes femeninas constituían el 7 por 100 del alumnado de las universidades prusianas.

31. Inicialmente, sin embargo, las mujeres no tenían acceso a todas las facultades universitarias. En 1911 sólo podían obtener grados, en las mismas condiciones que los hombres, en las Facultades de Derecho, Medicina y Filosofía; no, por ejemplo, en las Facultades de Teología.

32. La mayor parte de los datos que ofrezco aquí sobre las mujeres en la universidad proceden de Fritz K. Ringer, *Education and Society in Modern Europe* (Indiana University Press, Bloomington 1979). Hay que señalar, sin embargo, que tales datos son muy incompletos, y aparecen en este libro solamente de manera episódica.

33. Pilar Ballarín, «La construcción de un modelo educativo de "utilidad doméstica"», en Georges Duby y Michelle Perrot, dir., *Historia de las mujeres*, vol. 4 (*El siglo XIX*) (Taurus, Madrid 2000), pp. 624-639.

34. Aparte se encuentran, naturalmente, las excepciones obvias de mujeres que lograron algún tipo de reconocimiento científico ayudadas, al menos en parte, por las facilidades que ponía a su disposición su entorno familiar. Así, Mary Somerville (1780-1872) se benefició indudablemente de ser hija de un vicealmirante escocés. A través de su familia entró en contacto con la élite cultural y profesional de Edimburgo. Al enviudar pronto y disponer de una modesta pero confortable fortuna, pudo dedicarse a educarse a sí misma en matemáticas y astronomía, pasando por alto, eso sí, las burlas de muchos de sus amigos, aunque recibiendo también la ayuda de otros (John Playfair, por ejemplo). Además, encontró apoyo en su segundo marido, William Somerville, que llegaría a ser *fellow* de la Royal Society de Londres. En 1817, Mary viajó, junto a su esposo, a Francia, en donde Biot y Arago les presentaron a figuras como Laplace, Gay-Lussac, Poisson y Cuvier. Véase Elizabeth C. Patterson, «Somerville, Mary Fairfax Greig», *Dictionary of Scientific Biography,* vol. 12, pp. 521-525 (Charles Scribner's, Nueva York 1970-1980). Un caso parecido al de Somerville fue el de Sonya Kovalevsky (1850-1891), acaso la mejor matemática de la historia con anterioridad al siglo xx. Sonya era hija de un general ruso de artillería y recibió una excelente educación, que incluyó cursos en Alemania con Kirchhoff, Helmholtz y Weierstrass, que actuó como su tutor durante cuatro años. Edna E. Kramer, «Kovalevsky, Sonya», *Dictionary of Scientific Biography,* vol. 7 (Charles Scribner's, Nueva York 1970-1980), pp. 477-480; Ann Hibner Koblitz, «Career and home life in the 1880s: The choices of mathematician Sofia Kovalesvskaia», en *Uneasy Careers and Intimate Lives, op. cit*., pp. 172-190.

35. Aunque menos atractivo que la astronomía, otro ejemplo posible es el de la química. Véanse Mary R. S. Creese, «British women of the nineteenth and early twentieth centuries who contributed to research in the chemical sciences», *The British Journal for the History of Science 24,* 275-305 (1991); Sherida Houlihan y John H. Wotiz, «Women in Chemistry before 1900», *Journal of Chemical Education 52,* 362-364 (1975); M. Susan Lindee, «The American career of Jane Marcet's *Conversations on Chemistry,* 1806-1853», *Isis 82,* 8-23 (1991).

36. Londa Schiebinger, «Maria Winkelmann at the Berlin Academy. A turning point for women in Science», *Isis 78,* 174-200 (1987). Sobre el porcentaje de mujeres astrónomas en Alemania, véase la nota 9 de ese artículo.

37. Sally Gregory Kohlstedt, «Maria Mitchell and the advancement of women in science», en *Uneasy Careers and Intimate Lives*, *op. cit.*, pp. 129-146.

38. En principio, Lowell deseaba que el observatorio se dedicase a examinar la superficie de Marte en busca de señales de vida. Sin embargo, tenía los conocimientos suficientes como para transcender sus más inmediatos deseos. Así, como sospechaba que líneas espectrales todavía desconocidas en los espectros de los planetas podrían aparecer también en los espectros de las nebulosas espirales, pidió en 1909 a Vesto M. Slipher que obtuviese espectros de esas nebulosas. Esta petición dio origen a interesantes desarrollos dentro del problema entonces dominante en astrofísica de si la Vía Láctea, el sistema en el que se encuentra el sistema solar, agota o no todo el universo. Véase, Norris S. Hetherington, «Observational cosmology in the twentieth century», en *Human Implications of Scientific Advance,* E. G. Forbes, ed. (Edinburgh University Press, Edimburgo 1978), pp. 567-575. Ya me referí de pasada al ascenso de la astrofísica en Estados Unidos en el capítulo 2.

39. M. W. Rossiter, «“Women’s work” in science, 1880-1910», *op. cit.*

40. Helen Sawyer Hogg, «Variable stars», en *Astrophysics and Twentieth-century Astronomy to 1950: Part A,* Owen Gingerich, ed. (Cambridge University Press, Cambridge 1984), pp. 73-89. Kevin Krisciunas, *Astronomical Centers of the World* (Cambridge University Press, Cambridge 1988), p. 131.

41. «Journal of Williamina Paton Fleming. Curator of Astronomical Photographs, Harvard College Observatory», Harvard University Archives. Citado en M. W. Rossiter, *Women Scientists in America, op. cit.*, p. 57.

42. *Harvard College Observatory Annals 60*, n.° 4, pp. 87-108 (1908).

43. Sin embargo, para sus contemporáneos, Leavitt fue conocida casi exclusivamente por haber descubierto 2.400 estrellas, alrededor de la mitad de las conocidas en la época.

44. Los trabajos de Leavitt sobre estrellas variables aparecen comentados, dentro de un contexto más general, en Helen S. Hogg, «Variable stars», especialmente en pp. 8485. Véase, asimismo, Owen Gingerich, «Leavitt, Henrietta Swan», *Dictionary of Scientific Biography,* vol. 8 (Charles Scribner's Sons, Nueva York 1970-1980), pp.105-106.

45. Richard Berendzen, Richard Hart y Daniel Seeley, *Man Discovers the Galaxies* (Science History Publications, Nueva York 1976), p. 22.

46. En cualquier caso, no hay duda de que Leavitt realizó un descubrimiento y que así lo percibieron al menos algunos. En 1952, un matemático sueco escribía a Leavitt al Observatorio de Harvard informándole de que deseaba proponer su nombre para el premio Nobel de Física por su descubrimiento. Desafortunadamente, Henrietta Leavitt había fallecido cuatro años antes.

47. Pamela E. Mack, *Women in Astronomy in the United States, 1775-1920* (B. A. tesis, Harvard University, 1977).

48. Katherine Haramundanis, ed., *Cecilia Payne-Gaposchkin: Her Autobiography and Other Recollections* (Cambridge University Press, Nueva York 1984), pp. 219-227. Para más información sobre Cecilia Payne, véase, por ejemplo, Peggy A. Kidwell, «Cecilia Payne-Gaposchkin: Astronomy in the family», en *Uneasy Careers and Intimate Lives, op. cit.*, pp. 216-238, y Stephen G. Brush, «Women in the physical sciences», *op. cit.*, pp. 14-15.

49. Volveremos a encontrarnos con Millikan en otros capítulos.

50. Sponer (1895-1968) había obtenido el título de doctora por la Universidad de Gotinga en 1920, estando asociada a la Facultad de Física de esa universidad desde 1921 hasta 1934 (*ausserardentlich professor* desde 1932). Desde 1936 permaneció en Duke. En 1945 se casó con el físico James Franck. En 1965 se jubiló y fue nombrada profesora emérita. Fue una especialista de talla mundial en el campo de la espectroscopia molecular, especialmente de las moléculas poliatómicas.

51. Archivos de Duke University. Citada en M. W. Rossiter, *Women scientists in America, op. cit.,* pp. 192-193.

52. Subrayado (doble, de hecho) de Millikan.

53. Volveré a argumentos de este tipo en el capítulo 10.

54. Se pueden obtener más detalles acerca de la vida y obra de Emmy Noether en Auguste Dick, *Emmy Noether, 1882-1935* (Birkhauser, Boston 1981), y *Emmy Noether. A Tribute to Her Life and Work,* James W. Brewer y Marthe K. Smith, eds. (Marcel Dekker, Nueva York 1981).

55. Emmy Noether, «Invarianten beliebiger Differentialausdrücke», *Nachrichten der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, pp. 37-44 (1918); «Invariante Variationsprobleme», *Nachrichten der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, pp. 235-257 (1918). Esta aportación de Noether se estudia en David Rowe, «The Göttingen response to general relativity and Emmy Noether's theorems», en Jeremy J. Gray, ed., *The Symbolic Universe. Geometry and Physics 1890-1930* (Oxford University Press, Oxford 1999), pp. 189-233. Véase, asimismo, Hans A. Kastrup, «The contributions of Emmy Noether, Felix Klein and Sophus Lie to the modern concept of symmetries in physical systems», en *Symmetries in Physics (1600-1980)*, Manuel G. Doncel *et al.*, eds. (Seminari d'Història de les Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra 1987), pp. 113-158.

56. Incluida en Robert Schulmann, A. J. Kox, Michel Janssen y Jozsef Illy, eds., *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 8, Parte B (Princeton University Press, Princeton 1998), p. 774.

57. *Ibid.*, p. 976.

58. Hermann Weyl, «Emmy Noether», *Scripta Mathematica 3,* 201-220 (1935).

59. Tomo estos datos del «Documento 14: La discriminación de las mujeres en la ciencia», incluido en el *Dossier*, «Historia de las mujeres», *Aula. Historia Social*, n.o 9 (primavera 2002), p. 41, y basado, según se indica allí, en datos publicados en *El País*, 19 de enero de 2000. He citado estos datos en José Manuel Sánchez Ron, *Los mundos de la ciencia. Del Big Bang al 11 de septiembre* (Espasa, Madrid 2002), capítulo 6.

60. A continuación utilizo datos incluidos en Toni Feder, «Women, and some men, ask why women don't flock to physics», *Physics Today* (mayo 2002), pp. 24-26. Se pueden encontrar más datos sobre la situación de las científicas en Estados Unidos en Margaret W. Rossiter, «Which science? Which women?», en S. G. Kohlsteadt y H. E. Longino, eds., *Women, Gender, and Science*, *op. cit.*, pp. 169-185.

61. *Science and Engineering Indicators 2000*, vol. 2 (American Association for Engineering Societies, Washington D. C. 1999).

62. Véase en este sentido los comentarios del entomólogo y fundador de la sociobiología, Edward Wilson, en su libro *On Human Nature* (1978), capítulo VI («Sexo»); versión española: *Sobre la naturaleza humana* (Fondo de Cultura Económica, México 1980).

63. Marvin Harris, «¿Guerreras?», en *Nuestra especie* (Alianza, Madrid 1991; versión original en inglés de 1989), pp. 277-279.

64. Doreen Kimura, «Cerebro de varón y cerebro de mujer», *Investigación y Ciencia. Temas*, n.° 28 (1002), pp. 88-96; p. 88.

65. Stephen Jay Gould, *La falsa medida del hombre* (Crítica, Barcelona 1997; edición original en inglés de 1981), pp. 317-318.

1. He defendido la importancia decisiva de la ciencia (y de la física cuántica) en la historia del siglo XX en José M. Sánchez Ron, *El Siglo de la Ciencia* (Taurus, Madrid 2000).

2. Una historia más completa de los orígenes de la física cuántica se encuentra en José M. Sánchez Ron, *Historia de la física cuántica. I. El período fundacional* (Crítica, Barcelona 2001).

3. La referencia clásica sobre Röntgen es el libro de Otto Glasser, *Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen* (Berlín 1931). Otros estudios dignos de mencionar son W. Robert Nitske, *The Life of Wilhelm Conrad Röntgen. Discoverer of the X ray* (Tucson 1971), G. L'E. Turner, «Röntgen, Wilhelm Conrad», *Dictionary of Scientific Biography*, Charles C. Gillespie, ed. vol. 11 (Charles Scribner's Sons, Nueva York 1970-1980), pp. 529-531, y Giorgio Cosmacini, *Röntgen, Il «fotografo dell'invisibile» lo scienziato che scoprì i raggi X* (Rizzoli, Milán 1984).

4. W. Röntgen, «Über eine neue Art von Strahlen», *Sitzungsberichte der Physitalisch-Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg,* 132-141 (1895). Los principales artículos de Röntgen, junto con otros de G. G. Stokes y J. J. Thomson, sobre los rayos X se encuentran reunidos (traducidos al inglés) en *Röntgen Rays. Memoirs by Röntgen, Stokes and J. J. Thomson* (Harper & Brothers, Nueva York 1899), reeditado en *Gravitation, Heat and X-rays* (Arno Press, Nueva York 1981).

5. Arthur Schuster, *Biographical Fragments* (Macmillan, Londres 1932), *The Progress ot Physics During 33 Years (1875-1908)* (Cambridge University Press, Cambridge 1911).

6. El propio Schuster tradujo al inglés el artículo de Röntgen, que apareció en *Nature* (vol. 53) el 23 de enero de 1896.

7. Citado en *Premios Nobel alemanes,* Armin Hermann, dir. (Heinz, Múnich 1968), p. 75.

8. Véanse en este sentido los comentarios de A. Schuster, *The Progress of Physics during 33 years (1875-1908), op. cit.,* pp. 52 y ss, así como el capítulo XI de Edmund T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity. The Classical Theories* (Thomas Nelson and Sons, Londres 1951).

9. Joseph J. Thomson, «Cathode rays», *Proceedings of the Royal Institution 15,* 419-432 (1897), «Cathode rays», *Philosophical Magazine 44,* 293-316 (1897). Una descripción particularmente clara de los trabajos de Thomson aparece en Steven Weinberg, *Partículas subatómicas* (Prensa Científica/Labor, Barcelona 1985). Estudios históricos más rigurosos se encuentran en Isabel Falconer, «Corpuscles, electrons and cathode rays: J. J. Thomson and the "Discovery of the electron"», *British Journal for the History of Science 20,* 241-276 (1987), y Stuart M. Feffer, «Arthur Schuster, J. J. Thomson, and the discovery of the electron», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 20,* 33-61 (1989); véase también J. M. Sánchez Ron, *Historia de la física cuántica. I*, *op. cit.*, cap. 3.

10. He utilizado la traducción al castellano que Blas Cabrera hizo de esta obra en 1909: *Electricidad y materia* (Adrián Romo, Madrid 1909), p. 83.

11. Los resultados obtenidos por Thomson serían refinados años más tarde, en 1913, por Robert Millikan.

12. W. Röntgen, «Über eine neue Art von Strahlen», *op. cit.*, p. 141. Acerca de las distintas interpretaciones de los rayos X, véase Bruce R. Wheaton, *The Tiger and the Shark. Empirical Roots of Wave-particle Dualism* (Cambridge University Press, Cambridge 1983). Consúltese, asimismo, Roger H. Stuewer, *The Compton Effect. Turning Point in Physics* (Science History Publications, Nueva York 1975).

13. *The Correspondence between Sir George Gabriel Stokes and Sir William Thomson, baron Kelvin of Largs,* vol. 2 («1870-1901»), David B. Wilson, ed. (Cambridge University Press, Cambridge 1990), p. 632.

14. Bragg pensaba que los rayos X estaban formados por partículas neutras, o por dobletes de dos cargas de signo contrario. Consúltese, B. R. Wheaton, *The Tiger and the Shark, op. cit.*, pp. 81 y ss.

15. Paul Forman, «The discovery of the diffraction of X-rays by crystals: a critique of myths», *Archive for History of Exact Sciences 6,* 38-71 (1969).

16. Los rayos X forman parte, efectivamente, del espectro luminoso, siendo su longitud de onda muy pequeña, entre 0,01 y 50 angstroms.

17. He aquí lo que Sommerfeld, ya convencido, escribía en su célebre libro sobre la estructura atómica y líneas espectrales: «La brillantez de la idea de Laue consistió en haber reconocido que la estructura espacial de los cristales está tan felizmente adaptada a la longitud de onda de la radiación Röntgen como la estructura de las rejillas de Rowland estaba adaptada a la longitud de onda de la luz ordinaria; esto es, que podemos tomar directamente de las manos de la naturaleza los aparatos de difracción necesarios para los rayos Röntgen, en la forma de una de sus obras maestras: un cristal de crecimiento regular». A. Sommerfeld, *Atomic Structure and Spectral Lines* (Methuen, Londres 1923; primera edición alemana de 1919), p. 117.

18. W. Friedrich, P. Knipping y M. Laue, «Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen», *Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (München) mathematisch-physikalische Klasse 42*, 303-322 (1912). Max von Laue, «Eine quantitative Prüfung der Theorie für die Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen», *Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (München) mathematisch-physikalische Klasse 42,* 363-273 (1912).

19. Max von Laue, «My development as a physicist. An autobiography», en *Fifty Years of X-ray Diffraction*, Peter P. Ewald, ed. (N. V. a. Oosthoek's Uitgeversmaarschappij, Utrecht 1962), pp. 278-397; p. 294. En 1914, von Laue recibió el premio Nobel de Física por este descubrimiento.

20. Piénsese, por ejemplo, en el papel que desempeña el grupo CO_3 en la estructura del feldespato, $CaCO_3$.

21. Para este punto, consúltese G. M. Caroe, *William Henry Bragg, 1862-1942. Man and Scientist* (Cambridge University Press, Cambridge 1978) y *Fifty Years of X-ray Diffraction*, *op. cit.*

22. Citado en *Fifty Years of X-ray Diffraction, op. cit*., pp. 61-62. Los principales artículos en el desarrollo de este método son: W. L. Bragg, «On the spectral reflection of X rays», *Nature 93*, 410 (1912), «The structure of some crystals as indicated by their diffraction of X-rays», *Proceedings of the Royal Society A 89,* 248-277 (1913); W. H. Bragg y W. L. Bragg, «The reflection of X-rays by crystals», *Proceedings of the Royal Society A 88,* 428-438 (1913). Véase, asimismo, W. H. Bragg y W. L. Bragg, *X Rays and Crystal Structure* (Bell, Londres 1915).

23. A. Schuster, *The Progress of Physics, op. cit.*, pp. 74-75.

24. Este ejemplo ha sido estudiado por Antoni Roca Rosell, *La Física en la Cataluña finisecular. El joven Fontserè y su época,* tesis doctoral (Universidad Autónoma de Madrid 1990), pp. 368-429.

25. Eduardo Lozano y Ponce de León, *Las radiaciones de Röntgen. Qué son y para qué sirven* (Tipografía «La Publicidad» de Tobella, Costa y Piñol, Barcelona 1896); citado en A. Roca Rosell, *La Física en la Cataluña finisecular, op. cit.,* p. 371.

26. Citado en Albert Ranc, *Henri Becquerel et la découverte de la radioactivité* (Editions de la Liberté, París 1946), p. 15. Otros detalles acerca de la recepción del descubrimiento de Röntgen en Francia aparecen en A. Roca Rosell, *La Física en la Cataluña finisecular, op. cit.*, pp. 364-368.

27. Sobre la saga de los Becquerel, que continuó con Jean Antoine-Edmond Becquerel (1879-1953), hijo de Henri, véase Loïc Barbo, *Les Becquerel. Une dynastie de scientifiques* (Belin, París 1999).

28. Henri Becquerel, «Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents», *Comptes rendus 122,* 501-503 (1986).

29. Sobre Marie Curie y el descubrimiento de la radiactividad, véase José M. Sánchez Ron, *Marie Curie y su tiempo* (Crítica, Barcelona 2000).

30. Algunos meses antes que Marie Curie, el alemán Gerhard Schmidt había realizado el mismo descubrimiento.

31. Pierre y Marie Curie, «Sur une substance nouvelle radiactive, contenue dans la pechblende», *Comptes rendas 127,* 175-178 (1898); Pierre Curie, Marie Curie y Gustave Bémont, «Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende», *Comptes rendus 127,* 1215-1217 (1898).

32. La presente sección sigue muy de cerca partes del capítulo 2 de J. M. Sánchez Ron, *Marie Curie y su tiempo*, *op. cit.*

33. Pierre Curie y Henri Becquerel, «Action physiologique des rayons du radium», *Comptes rendus 132*, 1289 (1901).

34. Algo parecido les ocurrió, como se describe en este mismo artículo, a Becquerel y a Marie Curie, aunque estos casos ocurrieron involuntariamente: cuando transportaban pequeños tubos sellados que contenían algunos decigramos de cloruro de bario radificado muy activo (de actividad 80.000 veces la del uranio en el caso de Becquerel).

35. Frédéric Joliot, «Contamination radioactive de manuscrits de Pierre et Marie Curie relatifs aux expériences ayant suivi la découverte du radium», *Comptes rendus 246*, 1000 (1958); reimpreso en Frédéric e Irène Joliot-Curie, *Oeuvres Scientifiques Completes* (Presses Universitaires de France, París 1961), pp. 815-819; p. 815.

36. Mencionado en Bénédicte Vincent, «La radiumthérapie avant la Première Guerre Mondiale», en Monique Bordry y Soraya Boudia, eds., *Les rayos de la vie. Une histoire des applications médicales des rayos X et de la radiactivité en France, 1896-1930* (Institut Curie, París 1998), pp. 36-44

37. En realidad, la revista tuvo algo así como dos fundaciones: el primer número apareció en enero de 1904, con Henri Farjas, un ingeniero civil, como director, que tenía experiencia editorial, ya que en 1886 había creado la *Revue universelle des inventions nouvelles* y en 1890 la *Protection de l'intelligence*. Se trataba de una publicación mensual ilustrada, que nacía debido al interés popular que había suscitado el descubrimiento del radio: «El Radio ha nacido ayer», comenzaba el primer número, «su entrada en el gran público ha sido rápida y brillante. Conocido ayer solamente en el mundo de los sabios, hoy es objeto de todas las curiosidades, de todos los deseos. Todos querrían verlo, todos querrían poseer una muestra y convencerse, por propia experiencia, de que las maravillas descritas en las revistas no son fruto de la imaginación, sino realidades bien tangibles. La inconmensurable revolución que puede producir en la vida social la producción industrial de este cuerpo, por sus aplicaciones a la fuerza motriz, al calor, a la luz, e incluso al tratamiento de enfermedades consideradas incurables, ha despertado la entusiasta curiosidad de la humanidad. Una vez más nuestra querida Francia agita la bandera de la ciencia, arrojando resplandores fulgurantes sobre el mundo entero». Se trataba de una publicación destinada a «la masa del público, turistas, obreros, grandes o pequeños propietarios», a los que se ofrecería artículos en los que se les indicaría cómo reconocer los minerales con posibilidad de contener radio, «de tal manera que cada uno pueda buscar muestras y enviárnoslas para que nosotros las analicemos». En febrero, Jacques Danne fue nombrado redactor jefe, pero ello no significó que variase apreciablemente la orientación de la revista, en la que los artículos ni siquiera estaban firmados (lo que da idea de su carácter superficial). En junio aparecía el sexto y último número de aquella primera época de *Le Radium*, dejando paso, en julio, a una nueva serie (cuyo número inicial volvió a ser el 1), más elegante, estilo *art nouveau*, editada por Masson y con Danne como máximo responsable en calidad de «secretario de redacción». En el volumen cuarto (1907), el título de la revista cambió de *Le Radium. La radioactivité et les radiations, les sciences qui s'y rattachent et leurs applicationes* a *Le Radium. La radioactivité, les radiations, l'ionisation. Journal de Physique théorique et expérimentale*. El mismo año en que comenzó a publicarse *Le Radium*, apareció otra revista en Alemania dedicada también a la radiactividad: *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*, editada por Johannes Stark.

38. A. Darier, «Les applications médicales du Radium», *Le Radium 1*, 8-11 (1904); p. 8.

39. Monique Bordry, «Les années folles du radium», M. Bordry y S. Boudia, eds., *Les rayos de la vie*, *op. cit.*, pp. 116-124.

40. Citado en M. Bordry, «Les années folles du radium», *op. cit.*, p. 119.

41. George Pélissier, «Le Radium et la radioactivité à l'Exposition de Saint-Louis (États-Unis)», *Le Radium*, suplemento al número del 15 de marzo, 2-3 (1905).

42. Los textos de Rutherford y Millikan se encuentran en Howard J. Rogers, ed., *Congress of Arts and Science. Universal Exposition, St. Louis, 1904*, vol. IV (*Physics. Chemistry. Astronomy. Sciences of the Earth*) (Houghton, Mifflin and Company, Boston y Nueva York 1906); reimpreso en Katherine R. Sopka, comp., *Physics for a New Century. Papers Presented at the 1904 St. Louis Congress* (Thomas Publishers/American Institute of Physics, Nueva York 1986), pp. 77-299.

43. Ernest Rutherford, «Uranium radiation and the electrical conduction produced by it», *Philosophical Magazine 47*, 109-163 (1899); sección 19.

44. Los trabajos de Rutherford en este campo, al igual que en el desarrollo de su modelo atómico, se analizan en John L. Heilbron, «The scattering of α and β particles and Rutherford's atom», *Archives for History of Exact Sciences 4,* 247-307 (1968). Para un contexto más amplio, consúltese B. R. Wheaton *The Tiger and the Shark, op. cit.*, capítulo 3.

45. Ernest Rutherford, «Excited radioactivity and the method of its transmission», *Philosophical Magazine 5* (serie 6), 95-117 (1903); sección 10.

46. Ernest Rutherford, «The succession of changes in radioactive bodies», *Philosophical Transactions of the Royal Society 204,* 169-219 (1904).

47. Ernest Rutherford y Hans Geiger, «The charge and nature of the α-particle», *Proceedings Royal Society of London 81,* 162-173 (1908).

48. Macmillan, Londres 1883.

49. *Ibid.*, p. 1

50. Alfred M. Mayer, «On the morphological laws of the configurations formed by magnets floating vertically and subjected to the attraction of a superposed magnet», *American Journal of Science 116,* 247-256 (1878). Los modelos propuestos por Thomson, al igual que otros de la época, se analizan en John L. Heilbron, «Lectures on the history of atomic physics», en *History of Twentieth-Century Physics*, C. Weiner, ed. (Academic Press, Nueva York 1977), pp. 40-108.

51. J. J. Thomson, *Electricidad y materia, op. cit.*, pp. 103-104.

52. Hans Geiger y Ernest Marsden. «On a diffuse reflection of the α-particles», *Proceedings Royal Society of London A 82,* 495-500 (1909).

53. Ernest Rutherford, «The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom», *Philosophical Magazine 21,* 669-688 (1911).

54. Esta ambigüedad surgía de que la fórmula de la difusión *(scattering)* dependía del cuadrado de la carga del núcleo. Pronto, sin embargo, Rutherford mantuvo que el núcleo está cargado positivamente, y negativamente la capa que le rodea.

55. Hantaro Nagaoka, «Kinetics of a system of particles illustrating the line and baud spectrum and the phenomena of radioactivity», *Philosophical Magazine 7,* 445-455 (1904). Véase Tetu Hirosige y Sigeko Nisio, «Formation of Bohr's theory of atomic constitution», *Japanese Studies in the History of Science,* n.° 3, 6-28 (1964).

56. Este problema era bien conocido. En su libro *Electromagnetic Radiation,* premio Adams de la Universidad de Cambridge en 1909, y publicado en 1912 por Cambridge University Press, George A. Schott escribía (p. xii): «El capítulo XII trata del movimiento de un grupo de cargas eléctricas, en particular del movimiento estable de un anillo circular de electrones. Debido a la pérdida de energía por radiación, un movimiento uniforme estricto es imposible si las cargas no varían en absoluto, a menos que la pérdida sea compensada por alguna fuente externa, que produzca la fuerza tangencial necesaria para mantener la velocidad uniforme».

57. Gustav R. Kirchhoff, «Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärmen», *Monatsberichte der Kgl. Preussischen Akademie der Wissenschaften Berlin*, pp. 783-787 (1859).

58. Max Planck, «Über eine Verbesserung der Wien'schen Spektralgleichung, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 2,* 202-204 (1900).

59. Max Planck, «Über das Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum», *Verhandlungen des Deutschen Physikalischen Gesellschaft 2,* 237-245 (1900).

60. Citada en Armin Hermann, *The Genesis of Quantum Theory (1899-1913)* (The MIT Press Cambridge, Massachusetts 1971), pp. 23-24.

61. Un problema crucial es el de qué se quiere decir con el término «probabilidad». Lo que tanto Boltzmann como Planck hicieron fue suponer que la probabilidad era proporcional al número de configuraciones moleculares (*microestados* en la terminología moderna) posibles correspondientes a un estado macroscópico del sistema. No todos aceptaron este paso, que continuó siendo un problema básico de la teoría cuántica durante bastante tiempo. En el primer Congreso Solvay, celebrado en Bruselas entre el 30 de octubre y el 3 de noviembre de 1911, Einstein manifestó que «parece un poco sorprendente aplicar la ley de Boltzmann como quiere el señor Planck, introduciendo una probabilidad W sin dar una definición física de ella. Si se procede de esta manera, entonces la ecuación de Boltzmann no tiene ningún significado físico. El hecho de que se tome W igual al número de configuraciones no cambia nada, puesto que no se explica cómo se reconoce que dos configuraciones sean igualmente probables». *La theorie du rayonnement et les quanta*, P. Langevin y M. de Broglie, eds. (Gauthier-Villars, París 1912), p. 115. Más detalles sobre estos puntos en J. M. Sánchez Ron, *Historia de la física cuántica, I*, *op. cit.*

62. Albert Einstein, «Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt», *Annalen der Physik 17*, 132-148 (1905).

63. Robert Millikan, «Albert Einstein on his seventieth birthday», *Reviews of Modern Physics 21,* 343-345 (1949), p. 344.

64. Sobre Bohr, véase Abraham Pais, *Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity* (Clarendon Press, Oxford 1991).

65. *Studier over metallernes elektrontheori* (J. Jorgensen, Copenhague 1991). Reproducida (original danés y traducción al inglés) en *Niels Bohr Collected Works,* vol. 1 (*Early work, 1905-1911*), J. Rud Nielsen, ed. (North-Holland, Amsterdam 1972), pp. 167-395.

66. Paul Drude, «Zur Elektronentheorie der Metalle», *Annalen der Physik 1*, 566-613 (1900)

67. Hendrik A. Lorentz, «The motion of electrons in metallic bodies. I, II, III», *Koninklijke Akademie van Wetenschappen Amsterdam. Proceedings of the Section of Sciences 7*, 438-453, 555-593, 684-691 (1904-1905).

68. Niels Bohr, «Reminiscences of the founder of nuclear science and of some developments based on his work», en *Rutherford at Manchester,* J. B. Birks, ed. (W. A. Benjamin, Nueva York 1963), pp. 114-167; p. 116.

69. Un tratamiento bastante completo se encuentra en John L. Heilbron y Thomas S. Kuhn, «The genesis of the Bohr atom», *Historical Studies in the Physical Sciences 1*, 211-290 (1969) y en J. M. Sánchez Ron, *Historia de la física cuántica, I, op. cit*. Una buena exposición, aunque más elemental, es la de John L. Heilbron, «Rutherford-Bohr atom», *American Journal of Physics 49*, 223-231 (1981).

70. Niels Bohr, «On the constitution of atoms and molecules», *Philosophical Magazine 26,* 1-25 (1913), p. 13.

71. John W. Nicholson, «The constitution of the solar corona. I. Protofluorine», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 72*, 139-150 (1911); «The constitution of the solar corona. II», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 72*, 677-692 (1912); «The constitution of the solar corona. III», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 72*, 729-739 (1912).

72. *Niels Bohr Collected Works,* vol. 2 (*Work on Atomic Physics*), Ulrich Hoyer, ed. (North-Holland, Amsterdam 1981), pp. 106-107; véase, en particular, la «Introduction» de U. Hoyer, pp. 103-134.

73. Sobre espectroscopia y modelos atómicos, véase Clifford Lawrence Maier, *The Role of Spectroscopy in the Acceptance of the Internally Structured Atom, 1860-1920* (Arno Press, Nueva York 1981).

74. T = temperatura absoluta; R = constante de los gases.

75. The Physical Society of London/The Electrician, Londres 1914, p. 48.

76. Niels Bohr, «On the constitution of atoms and molecules», *Philosophical Magazine 26,* 1-25 (1913); «On the constitution of atoms and molecules. Part II. Systems containing only a single nucleus», *Philosophical Magazine 26,* 476-502 (1913); «On the constitution of atoms and molecules. Part III. Systems containing several nuclei», *Philosophical Magazine 26,* 857-875 (1913).

77. Johann J. Balmer, «Notiz über die Spectrallinien des Wasserstoffs», *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel 7*, 548-560 (1885).

78. Léon Rosenfeld, «Introduction» a Niels Bohr, *On the Constitution of Atoms and Molecules* (Copenhague 1963), p. XXXIX.

79. Para una descripción de este proyecto, véase Thomas S. Kuhn, John L. Heilbron, Paul Forman y Lini Allen, *Sources for History of Quantum Physics. An Inventory and Report* (The American Philosophical Society, Filadelfia 1967).

80. Las mejores referencias para familiarizarse con la historia de la mecánica cuántica son las siguientes: Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics,* 2.ª edición (American Institute of Physics, Nueva York 1989); Jagdish Mehra y Helmut Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory,* 6 vols. en 9 libros (Springer Verlag, Nueva York 1982-2001); J. M. Sánchez Ron, *Historia de la física cuántica. I*, *op. cit*.; Abraham Pais, *Inward Bound* (Clarendon Press, Oxford 1986); B. L. van der Waerden, «Introduction» a *Sources of Quantum Mechanics.* B. L van der Waerden, ed. (Dover, Nueva York 1968), pp. 1-59; Friedrich Hund, *The History of Quantum Theory* (Harrap, Londres 1974). Sobre Heisenberg, véase David C. Cassidy, *Uncertainty. The Life and Science of Werner Heisenberg* (W. H. Freeman, Nueva York 1992).

81. Werner Heisenberg, «Los comienzos de la mecánica cuántica en Gotinga», en *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos* (Alianza, Madrid 1985), pp. 51-53.

82. En la formulación de la nueva mecánica el principio de correspondencia de Bohr (para números cuánticos grandes los resultados que se obtengan en la nueva teoría deben tender a los que se deducen de la mecánica clásica) desempeñó un papel importante; se trataba, en definitiva, de aprender de casos particulares qué reglas se podrían extraer para construir una mecánica general.

83. Werner Heisenberg, «Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen»« *Zeitschrift für Physik 33*, 879-893 (1925); este artículo fue recibido por la revista el 29 de julio. Se incluyen detalles interesantes del origen de la mecánica de matrices en Max Born, *My Life. Recollections of a Nobel Laureate* (Charles Scribner's Sons, Nueva York 1978), p. 216.

84. Max Born, Werner Heisenberg y Pascual Jordan, «Zur Quantenmechanik II», *Zeitschrift für Physik 35,* 557-615 (1925).

85. Albert Einstein a Paul Ehrenfest, 28 de agosto de 1926, citada, al igual que las cartas que siguen, en Karl von Meyenn y José M. Sánchez Ron, «Erwin Schrödinger y la concepción estadística del mundo», *Sylva Clius 1,* n.° 3, 3-23 (1987).

86. Albert Einstein a Michele A. Besso, 25 de diciembre de 1925.

87. Acerca de Dirac, véase Helge Kragh, *Dirac. A Scientific Biography* (Cambridge University Press, Cambridge 1990).

88. Albert Einstein a Paul Ehrenfest, 23 de agosto de 1926.

89. Max von Laue a Erwin Schrödinger, 12 de octubre de 1926. Wolfgang Pauli, «Über das Wasserstoffspektrum vom Standpunkt der neuen Quantenmechanik», *Zeitschrift für Physik 36,* 336-363 (1926).

90. Hans Thirring, «Die Grundgedanken der neuen Quantentheorie. Erter Teil: Die Entwicklung bis 1926», *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 7,* 384-431 (1928), p. 429.

91. Louis de Broglie, «Sommaire», *Recherches sur la théorie des quanta,* reedición (Masson, París 1963), p. 9.

92. Sobre Schrödinger, véase Walter Moore, *Schödinger. Life and Thought* (Cambridge University Press, Cambridge 1989).

93. Erwin Schrödinger, «Quantisierung als Eigenwertproblem. (Erste Mitteilung)», *Annalen der Physik 79,* 361-376 (1926), recibido en la revista el 27 de enero de 1926; «Quantisierung als Eigenwertproblem. (Zweite Mitteilung)», *Annalen der Physik 79*, 489-527 (1926); «Quantisierung als Eigenwertproblem. (Dritte Mitteilung: Störungstheorie, mit Anwendung auf den Stareffekt der Balmerlinien)», *Annalen der Physik 80,* 437-490 (1926); «Quantisierung als Eigenwertproblem. (Vierte Mitteilung)», *Annalen der Physik 81,* 109-139 (1926).

94. Erwin Schrödinger, «Über das Verhälnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Qunatenmechanik zu der meinen», *Annalen der Physik 79*, 734-756 (1926), p. 735.

95. Incluida en A. Einstein, E. Schrödinger, M. Planck, H. A. Lorentz, *Letters on Wave Mechanics* (Vision, Londres 1967), p. 47.

96. Albert Einstein a Erwin Schrödinger, 26 de abril de 1926; Max Planck a Erwin Schrödinger, 2 de abril de 1926; Hendrik A. Lorentz a Erwin Schrödinger, 27 de mayo de 1926. Estas cartas se encuentran reproducidas en *Letters on Wave Mechanics, op. cit*

97. E. Schrödinger, «Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen», *op. cit.*

98. Werner Heisenberg, «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik», *Zeitschrift für Physik 43,* 172-198 (1927).

99. John A. Wheeler, «Delayed-choice experiments and the Bohr-Einstein dialog», reimpreso parcialmente bajo el título «Law without law» en *Quantum Theory and Measurement,* J. A. Wheeler and W. H. Zurek, eds. (Princeton University Press, Princeton 1983). pp. 182-200.

100. Sobre la interpretación filosófica de la mecánica cuántica, véase Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (John Wiley, Nueva York 1974).

101. George Uhlenbeck y Samuel Goudsmit, «Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jades einzelnen Elektrons», *Naturwissenschaften 13*, 953-954 (1925); Enrico Fermi, «Sulla quantizaione del gas perfetto monoatómico», *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei 3*, 145-149 (1926) y «Zur quantelung des idealen einatomigen gases», *Zeitschrift für Physikt 36*, 902-912 (1926); Paul A. D. Dirac, «On the theory of quantum mechanics», *Proceedings of the Royal Society A 112*, 661-677 (1926).

102. Michael Eckert, «Propaganda in science: Sommerfeld and the spread of the electron theory of metals», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 17,* 191-233 (1987).

103. Más información se puede encontrar en Lillian Hoddeson, Ernest Braun, Jürgen Teichmann y Spencer Weart, eds., *Out of the Crystal Maze. Chapters from the History of Solid-State Physics* (Oxford University Press, Nueva York 1992); Lillian H. Hoddeson y Gordon Baym, «The development of the quantum mechanical electron theory of metals: 1900-1928», *Proceedings Royal Society of London A 371,* 8-23 (1980); L. Hoddeson, G. Baym y Michael Eckert, «The development of the quantum-mechanical theory of metals, 1928-1933», *Reviews of Modern Physics 59,* 287-327 (1987).

104. Arnold Sommerfeld, «Zur Elektronentheorie der Metalle», *Naturwissenschaften 15,* 823-832 (1927); «Zur Elektronentheorie der Metalle auf Grund der Fermischen Statistik», *Zeitschrift für Physik 47,* 1-60 (1928).

105. Citado en L. Hoddeson y G. Baym, «The development of the quantum mechanical electron theory of metals: 1900-1928», *op. cit.*, p. 16.

106. Un problema importante que dejaba sin resolver era la gran facilidad con que parecían moverse los electrones en los metales. La magnitud de la conductividad de un metal razonablemente puro, indicaba que un electrón podía recorrer muchas veces la distancia existente entre átomos con una probabilidad muy pequeña de encontrarse con algo en el camino. La distancia media recorrida antes de colisionar, o «recorrido libre medio», crecía a temperaturas bajas, lo que también resultaba incomprensible.

107. Véase capítulo 11.

108. Felix Bloch, «Memories of electrons in crystals», *Proceedings Royal Society of London A 371*, 24-27 (1980).

109. Felix Bloch, «Über die Quantenmechanik der Elektronen in Kristallgittern», *Zeitschrift für Physik 52,* 555-600 (1928).

110. «No pensé en bandas de conducción en el sentido en que se entienden actualmente, aunque aparecían claramente en mi resultado para un potencial periódico con mínimos profundos. Ésta debió ser la causa de mi equivocación relativa a la diferencia esencial entre aislantes y conductores.» F. Bloch, «Memories of electrons in crystals», *op. cit.*, p. 25. Sobre el desarrollo de la teoría de bandas, véase P. Hoch, «The development of the band theory of solids, 1933-1960)», en *Out of the Crystal Maze*, *op. cit*, pp. 182-235.

111. Ese año se publicó el célebre artículo de Arnold Sommerfeld y Hans A. Bethe, «Elektronentheorie der Metalle», *Handbuch der Physik* (Springer, Berlín 1933), en el que «se calculaba casi todo lo que se podía calcular» (Nevill Mott, «Development of solid state physics in England and Germany», en *The Origins of Solid-State Physics in Italy: 1945-1960,* G. Giuliani, ed. [Società Italiana di Fisica, Bolonia 1988], pp. 243-248; p. 244). Este trabajo pronto pasó a conocerse como la «bíblia del estado sólido». También en 1933 se publicó el primero de los artículos de Eugene Wigner y Frederick Seitz (estudiante de aquél) sobre la constitución del sodio metálico, trabajos que volveré a mencionar enseguida.

112. Walter Nernst, *The Theory of the Solid State* (University of London Press, Londres 1914).

113. Por ejemplo (sin repetir los ya mencionados antes): G. Breit, E. C. Kemble, R. S. Mulliken, J. R. Oppenheimer, B. Podolsky y H. P. Robertson.

114. En general la mayoría pasaba algún tiempo en más de un sitio.

115. Katherine R. Sopka, *Quantum Physics in America, 1920-1935* (Arno Press, Nueva York 1980), capítulo 3.

116. Además, como veremos en el capítulo 10, los principales líderes europeos de esa física también visitaron con frecuencia Norteamérica, lo que reforzaba las posibilidades de los físicos cuánticos estadounidenses.

117. Paul K. Hoch, «John Clarke Slater and the science for the transistor», *European Journal of Physics 11,* 283-291 (1990); «The development of the baud theory of solids, 1930-1960», *op. cit.*

118. Eugene Wigner y Frederick Seitz, «On the constitution of metallic sodium. I, II», *Physical Review 43*, 804-810 (1933), *46*, 509-524 (1934).

119. John Slater, *Solid-State and Molecular Theory. A Scientific Biography* (John Wiley, Nueva York 1975), p. 173.

120. Frederick Seitz, *On the Frontier. My Life in Science* (American Institute of Physics, Nueva York 1994), pp. 83-84.

121. Seitz reconocía, no obstante, que «el campo era algo más activo en Europa, con investigaciones a bajas temperaturas en Inglaterra, Holanda y Alemania, y con magnetismo en el laboratorio de Pierre Weiss en Francia», mientras que G. I. Taylor, en Cambridge, y otros estaban realizando trabajos básicos de flujos plásticos en cristales. También citaba el laboratorio de Robert W. Pohl en Gotinga, los trabajos de difusión en sólidos de Carl Wagner en Darmstadt, varios institutos en la Unión Soviética (como el de I. Ioffe en Leningrado, centrado en las propiedades eléctricas y mecánicas de los sólidos), y el laboratorio de K. Honda en Japón, dedicado a las propiedades magnéticas de los sólidos.

122. Más detalles acerca de la institucionalización de la física del estado sólido se encuentran en S. R. Weart, «The solid community», en *Out of the Crystal Maze*, *op. cit.*, pp. 617-669.

123. S. T. Keit y Paul K. Hoch, «Formation of a research school: Theoretical solid state physics at Bristol, 1930-1954», *British Journal for the History of Science 19,* 19-44 (1986).

124. N. Mott, «Development of solid state physics in England and Germany», *op. cit.,* p. 244. Véase, asimismo, Nevill Mott, *A Life in Science* (Taylor & Francis, Londres 1986), capítulo 9; Paul Hock, «The development of the band theory of solids, 1933-1960», *op. cit.*, y Michael Eckert y Helmut Schubert, *Cristales, electrones y transistores* (Alianza, Madrid 1991).

125. Frederick Seitz, «Biographical notes», *Proceedings of the Royal Society of London A 371*, 84-99 (1980), 89.

126. Friedrich Hund, «Zur Deutung einiger Erscheinungen in den Molekelspektren», *Zeitschrift für Physik 36*, 657-674 (1926); Max Born y Robert Oppenheimer, «Zur Quantentheorie der Molekeln», *Annalen der Physik 84*, 457-484 (1927); Linus Pauling, «The theoretical prediction of the physical properties of many-electron atoms and ions», *Proceedings of the Royal Society A 114*, 181-211 (1927); Walther Heitler y Fritz London, «Wechselwirkung neutraler Atome und homöpolare Bindung nach der Quantenmechanik», *Zeitschrift für Physik 44*, 455-472 (1927); Robert S. Mulliken, «The assignment of quantum numbers for electrons on molecules. I, II», *Physical Review 32*, 186-222, 761-772 (1928). Sobre los orígenes de la química cuántica, consúltese Kostas Gavroglu y Ana Simoes, «The Americans, the Germans, and the beginnings of quantum chemistry: The confluence of diverging traditions», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 25*, 47-110 (1994), Mary o Nye, *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry* (University of California Press, Berkeley 1993), cap. 9, y Kostas Gavroglu, *Fritz London. A Scientific Biography* (Cambridge University Press, Cambridge 1995), cap. 2.

127. Mohamed Larbi Bouguerra, *Pauling. L'Einstein de la chimie* (Belin, París 2002).

128. Citado en A. D. Buckingham, «Quantum chemistry», en *Schrödinger. Centenary Celebration of a Polymath*, C. W. Kilmister, ed. (Cambridge University Press, Cambridge 1987), pp. 112-118; p. 112. Por supuesto, esto no quiere decir que la química haya pasado a ser un mero apartado de la física. Las técnicas y problemática de la química son, en general, bastante diferentes de las propias de la física, que sólo puede pretender contener la clave teórica que, en condiciones ideales de cálculo (inalcanzables, aunque desde luego ya lo suficientemente potentes —con ayuda de los ordenadores y matemática aplicada— como para no ser minimizadas), permitiría *explicar* las sustancias químicas. Manipularlas, una parte esencial de la química, es otra cosa.

129. Es preciso, no obstante, señalar a propósito de este paradigmático texto que en él Pauling procuró limitar su contenido mecánico-cuántico. En este sentido, en el «Prefacio» a la primera edición Pauling escribía: «Durante mucho tiempo he estado planeando escribir un libro sobre la estructura de moléculas y cristales y la naturaleza del enlace químico. Con el desarrollo de la mecánica cuántica y su aplicación a problemas químicos se hizo evidente que se tendría que tomar una decisión acerca de en qué medida se deberían incorporar los métodos matemáticos de la teoría en este libro. Llegué a la opinión de que, incluso aunque muchos de los recientes progresos en la química estructural han sido debidos a la mecánica cuántica, debería ser posible describir los nuevos desarrollos de una forma directa y satisfactoria sin recurrir a matemáticas avanzadas. Solamente una pequeña parte del cuerpo de las contribuciones de la mecánica cuántica a la química ha sido de carácter mecánico-cuántico; únicamente en unos pocos casos, por ejemplo, se han obtenido resultados de interés químico directo mediante la solución exacta de la ecuación de ondas de Schrödinger... La principal contribución de la mecánica cuántica a la química ha sido sugerir nuevas ideas, tales como la resonancia de moléculas entre varias estructuras electrónicas con el consiguiente aumento de inestabilidad». Linus Pauling, *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals* (Cornell University Press, Ithaca 1940; segunda edición), p. IX.

130. Volveré a Pauling, con más detalles, en el capítulo 14 de este libro.

131. Silvan S. Schweber, «The young John Clarke Slater and the development of quantum chemistry», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 20,* 339-406 (1990), p. 379.

132. Además estaba el fotón, la «partícula de la luz». En algunos esquemas se introducía también a las partículas α, que se consideraban un sistema fuertemente ligado de cuatro protones y dos electrones.

133. Ernest Rutherford, «Nuclear constitution of atoms», *Proceedings of the Royal Society of London A 97,* 374-400 (1920). Las ideas de Rutherford se estudian en Roger H. Stuewer, «The nuclear electron hypothesis», en *Otto Hahn and the Rise of Nuclear Physics,* W. R. Shea, ed. (Reidel, Dordrecht 1983), pp. 19-67.

134. James Chadwich, «Possible existence of a neutron», *Nature 129,* 312 (1932); «The existence of a neutron», *Proceedings Royal Society of London A 136,* 692-708 (1932). Es bien sabido (J. M. Sánchez Ron, *Marie Curie y su tiempo*, *op. cit.*, pp. 180-181) que Irène Curie y su marido, Frédéric Joliot, tuvieron a su alcance, en su laboratorio de París, el descubrimiento del neutrón en enero de 1932. Sobre el descubrimiento del neutrón, véase Jales Six, *La découverte du neutron (1920-1936)* (Editions du CNRS, París 1987).

135. Walther Heitler y Gerhard Herzberg, «Gehorchen die Stickstoffkerne der Boseschen Statisk?», *Die Naturwissenschaften 17*, 673 (1929); Eugene Wigner, «Összetett Rendszerek Statisztikája a Quantummechanika szerint», *Magyar Tudományos Academia Matematikai és Természettudományi Értesitó 46*, 576-582 (1929).

136. Werner Heisenberg, «Über den Bau der Atomkerne, I, II, III», *Zeitschrift für Physik 77,* 1-11 (1932), *78,* 156-164 (1932),. *80,* 587-596 (1932). Sobre estos temas, consúltese Eugene P. Wigner, «The neutron: the impact of its discovery and its uses», en *Nuclear Physics in Retrospect,* Roger H. Stuewer, ed. (University of Minnesota Press, Minneapolis 1979), pp. 159-173; D. C. Cassidy, *Uncertainty, op. cit.*, pp. 290-295; Helge Kragh, «Particle science», en *Companion to the History of Modern Science,* R. C. Olby *et al.* eds. (Roudledge, Londres 1990), pp. 661-676.

137. Como en el caso que llevó, a comienzos de la década de 1940, a John A. Wheeler a desarrollar con su alumno Richard Feynman la denominada «electrodinámica de Wheeler-Feynman». José M. Sánchez Ron, «Quantum *vs*. classical physics: Some historical considerations on the role played by the "Principle of correspondence" in the development of classical physics», *Fundamenta Scientiae 4,* 77-86 (1983); J. A. Wheeler, «Some men and moments in the history of nuclear physics: the interplay of colleagues and motivations», en *Nuclear Physics in Retrospect, op. cit.*, pp. 217-306; pp. 254 y ss.

138. En una discusión más completa habría que mencionar también que a finales de 1929 había comenzado a circular entre la comunidad de físicos la idea de Pauli del neutrino, con la que pretendía explicar el equilibrio energético en la desintegración β.

139. Paul A. M. Dirac, «The quantum theory of the electron», *Proceedings of the Royal Society of London A 117*, 610-624 (1928).

140. Paul A. M. Dirac, «A theory of electrons and protons», *Proceedings of the Royal Society of London A 126*, 360-365 (1930); p. 362.

141. *Ibid.*, p. 363.

142. Hermann Weyl, *Gruppentheorie und Quantenmechanik*, segunda edición (1931), p. 234. He consultado la traducción al inglés: H. Weyl, *The Theory of Groups and Quantum Mechanics* (Dover, Nueva York 1950), pp. 262-263.

143. Paul A. M. Dirac, «Quantised singularities in the electromagnetic field», *Proceeding of the Royal Society of London A 133*, 60-72 (1931), p. 61.

144. Carl Anderson, «The positive electron», *Physical Review 43*, 491-494 (1933); «The apparent existence of easily deflectable positives», *Science 76*, 238 (1932).

145. En la teoría de Yukawa el rango (o alcance), R, de la interacción mediada por los mesones venía dado por la expresión $R = h/\mu c$, donde μ es la masa de los mesones, h la constante de Planck y c la velocidad de la luz. En 1947, el físico estadounidense Robert Marshak propuso que los mesones eran en realidad de dos tipos: el π (o pión) y el μ (o muón).

146. El artículo pionero de Dirac es «The quantum theory of the emission and absorption of radiation», *Proceedings of the Royal Society of London A 114*, 243-265 (1927). Una selección de los artículos principales en la génesis de la electrodinámica cuántica se encuentra en Julian Schwinger, ed., *Selected Papers on Quantum Electrodynamics* (Dover, Nueva York 1958). Sobre la historia de la electrodinámica cuántica, consúltese Silvan S. Schweber, *QED and the Men who Made it: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga* (Princeton University Press, Princeton 1994), y Arthur I. Miller, *Early Quantum Electrodynamics. A Source Book* (Cambridge University Press, Cambridge 1994).

147. Sobre el modelo estándar, véanse los comentarios de Steven Weinberg, «Nature itself», en Laurie M. Brown, Abraham Pais y Brian Pippard, eds., *Twentieth Century Physics* (Institute of Physics, Bristol 1995), vol. III, pp. 2033-2040.

148. Volveré, no obstante, a temas cuánticos, a la fisión, en el capítulo 11.

149. Ernest Rutherford, «Collision of α particles with light atoms. III. Nitrogen and oxygen atoms», *Philosophical Magazine 37,* 571-580 (1919).

150. John D. Cockroft y Ernest T. S. Walton, «Experiments with high velocity ions II. The disintegration of elements by high velocity protons», *Proceedings of the Royal Society of London A 137*, 23-38 (1932). Sobre el trabajo de Cockroft y Walton y su multiplicador, dentro del contexto de los primeros aceleradores de partículas, véase M. Stanley Livingston, *Particle Accelerators: A Brief History* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1969), referencia que también es útil para algunos de los desarrollos que se mencionan a continuación.

151. John L. Heilbron, Robert W. Seidel y Bruce R. Wheaton, *Lawrence and his Laboratory: Nuclear Science at Berkeley, 1931-1961* (Office for History of Science and Technology, University of California, Berkeley 1981); John L. Heilbron y Robert W. Seidel, *Lawrence and his Laboratory. A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*, vol. I (University of California Press, Berkeley 1989). También, Daniel J. Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Alfred A. Knopf, Nueva York 1978), especialmente pp. 227-231 y Paul Forman, «The atom smashers», en *The Smithsonian Book of Invention* (Nueva York 1978), pp. 132-139.

152. Rolf Wideröe, «Über ein neues Prinzip zur Herstellung hoher Spannugen», *Archiv für Elektrotechnik 21,* 387-406 (1928). Sobre la vida y obra de Wideröe, consultar Pedro Waloschek, *The Infancy of Particle Accelerators. Life and Works of Rolf Wideröe* (Vieweg, Braunschweig 1994); esta obra contiene lo que podemos considerar como autobiografía de Wideröe. Véase, asimismo, J. L. Heilbron y R. W. Seidel, *Lawrence and his Laboratory*, *op. cit.*, pp. 73-84, y M. Stanley Livingston, «History of the cyclotron. Part I», *Physics Today 12,* 18-23 (octubre de 1959).

153. El concepto de «resonancia magnética» fue publicado (sin haber sido comprobado experimentalmente) en una breve nota de Ernest O. Lawrence y Niels E. Edlefsen, «On the production of high speed protons» *Science 72*, 376-377 (1930). Más detalles sobre los ciclotrones en David L. Judd, «Ciclotrón», en *Enciclopedia de la Física,* Rita Lerner y George L. Trigg, eds. (Alianza, Madrid 1987), vol. 1, pp. 203-207.

154. Ya nos encontramos en el capítulo 2 con esbozos de *gran ciencia* (el Physikalisch-Technische Reichsanstalt y la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft), pero aunque aquella ciencia tenía, efectivamente, algunos de los rasgos que caracterizan a la *Gran Ciencia* (una estructura institucional ambiciosa y de grandes dimensiones), le faltaba manejar grandes aparatos.

155. Ernest O. Lawrence y M. Stanley Livingston, «The production of high speed light ions without the use of high voltages», *Physical Review 40*, 19-35 (1932).

156. Harold C. Urey, F. G. Brickwedde y G. M. Murphy, «A hydrogen isotope of mass 2 and its concentration», *Physical Review 40*, 1-15 (1932). El deuterio tiene un núcleo con un protón y un neutrón; el hidrógeno normal sólo tiene un protón.

157. Obtenida de residuos ácidos de baterías.

158. El propio Segrè ha relatado esta historia en «Fifty years up and down a strenuous and scenic trail», *Annual Review of Nuclear and Particles Sciences 31,* 1-18 (1981), pp. 7-8, y en su autobiografía: Emilio Segrè, *A Mind always in Motion* (University of California Press, Berkeley 1993), pp. 112-118.

159. Carlo Perrier y Emilio Segrè, «Some chemical properties of element 43», *Journal of Chemical Physics 5,* 712-716 (1937), p. 716; citado en J. L. Heilbron y R. W. Seidel, *Lawrence and his Laboratory, op. cit.*, p. 367.

160. Robert E. Kohler, *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists* (The University of Chicago Press, Chicago 1991), pp. 371 y ss.

161. De hecho, Lawrence intentó patentar algunos radioelementos con aplicaciones médicas, para así obtener con su venta fondos para su laboratorio. La solicitud de patentes de producción de radioisótopos mediante el bombardeo con deuterones no fue aceptada, pero la patente que cubría al ciclotrón, donde de hecho se producían, habría podido cumplir de alguna manera funciones parecidas, caso de haberse materializado la industria radiofarmacéutica en la década de 1930. Más tarde, la situación cambió con la aparición de los reactores nucleares.

162. A partir de 1936 comenzaron a trabajar en el laboratorio médicos y biólogos, junto a físicos, químicos e ingenieros.

163. En 1945 le tocó el turno a la Universidad de Estocolmo, también para investigaciones biomédicas. (Los ciclotrones para estos usos eran más pequeños y, por consiguiente, mucho más baratos —entre 35.000 y 50.000 dólares— que los que estaba construyendo Lawrence.)

1. Reproducida en Ze'ev Rosenkranz, *Albert Through the Looking-Glass. The Personal Papers of Albert Einstein* (The Jewish National & University Library, Jerusalén 1998), p. 82, y en Helen Dukas y Banesh Hoffmann, eds., *Albert Einstein. The Human Side* (Princeton University Press, Princeton 1979), p. 61.

2. R. Schulmann, A. J. Kox, M. Janssen y J. Illy, eds., *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 8, parte B (*The Berlin Years: Correspondence, 1918*) (Princeton University Press, Princeton 1998), p. 791.

3. Citado en Yehuda Elkana y Adi Ophir, eds., *Einstein 1879-1979* (Jewish National and University Library, Berman Hall, The Hebrew University, Jerusalén 1979), p. 22.

4. Respuesta a un artículo del profesor Hellpach que apareció en el *Vossische Zeitung* en 1929. Reproducida en Albert Einstein, *Mis ideas y opiniones* (Bon Ton, Barcelona 2000), p. 151.

5. Reproducido en Y. Elkana y A. Ophir, eds., *Einstein 1879-1979*, *op. cit.*, p. 23.

6. Albert Einstein, «Nuestra deuda con el sionismo», en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, *op. cit.*, pp. 167-169.

7. Citada en Alice Calaprice, ed., *The Quotable Einstein* (Princeton University Press, Princeton 1996), p. 95.

8. Carl Seelig, *Albert Einstein* (Espasa, Madrid 2005; edición original en alemán de 1960), pp. 224-225.

9. Albert Einstein, *About Zionism* (Macmillan, Nueva York 1931), pp. 48-49.

10. Reproducida, al igual que los dos documentos que siguen, en Z. Rosenkranz, *Albert Through the Looking-Glass*, *op. cit.*, pp. 94-96.

11. Sobre este negocio, véase Lewis Pyensen, «Audacions enterprise: The Einsteins and electrotechnology in late nineteenth-century Munich», *Historical Studies in the Physical Sciences 12*, 373-392 (1982).

12. La historia tradicional es la que se da en, por ejemplo, la biografía de Carl Seelig, algo antigua pero que incluía documentación de primera mano: «La claridad y exactitud del mundo de las leyes le infundía más respeto que todo lo que se inculcaba a los alumnos en el Instituto de Múnich, paralizando con esos métodos cualquier iniciativa independiente. A su natural tolerante le repugnaba el tono agresivo y autoritario que en tal época dominaba en la mayoría de las escuelas alemanas. Se apartaba horrorizado de dondequiera que viese uniformes cubiertos de dorados u oyese resonar bandas de música militar. No es de extrañar que desde un principio se opusiera al sistema guillermino de poder... En época posterior se expresó con las siguientes frases: "Lo peor es, a mi juicio, que una escuela se base por principio en los métodos del temor, de la fuerza y de una autoridad mal entendida. Tales métodos destruyen el sano sentido de justicia y la confianza del alumno en sí mismo; sólo son aptos para producir súbditos sumisos". Él mismo estaba tan lejos de ser uno de esos seres sometidos, que en el Instituto, el profesor encargado de dirigir su curso le dijo una vez: "¡Preferiría que no viniese usted más a este Instituto!". Y cuando Einstein le respondió: "¡Pero si yo no tengo la culpa de nada!", el profesor le dijo: "Desde luego que no. Pero su sola presencia en la clase basta para destruir todo el respeto"». Seelig, *Albert Einstein, op. cit.*, pp. 29-30. Por otra parte, Albrecht Fölsing ha señalado más recientemente que «es posible que en el joven Albert Einstein, que había visto sin poder hacer nada cómo la empresa de su padre desaparecía, estuviese ganando terreno la convicción de que la sociedad alemana en su conjunto había robado a su familia su medio de vida. Su muy reservada actitud ante su país nativo, incluso antes de 1933, puede muy bien haber comenzado a desarrollarse entonces. Sus negativos, distorsionados, recuerdos del Instituto Luitpold y su propia decisión cuando cerró la empresa —a la que seguiría pronto su renuncia de la ciudadanía alemana— puede, al menos en parte, retrotraerse a los profundos traumas del año 1894». A. Fölsing, *Albert Einstein, a Biography* (Viking, Nueva York 1997), p. 30.

13. Su hermana, María (*Maja*, como la llamaban), se casó (en 1910) con un miembro de la familia: Paul Winteler (1882-1952). Maja Einstein-Winteler (1881-1951) estudió Lenguas Románicas entre 1906 y 1909 en Berna, París y Berlín, doctorándose en Berna en 1909.

14. A. Einstein, «Autobiographisches/Autobiographical Notes», en Paul Arthur Schilpp, ed. (Open Court, La Salle, Illinois 1949), pp. 2-94.

15. Las calificaciones de Einstein en el Politécnico se reproducen en John Stachel, ed., *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 1 *(The Early Years. 1870-1902)* (Princeton University Press, Princeton 1987), pp. 45-50.

16. Estudios más detallados sobre puntos que se tratan a continuación se encuentran en José M. Sánchez Ron, *El origen y desarrollo de la relatividad* (Alianza, Madrid 1983, 1985). Acerca de la relatividad especial, Arthur I. Miller, *Albert Einstein's Special Theory of Relativity. Emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911)* (AddisonWesley, Reading, Massachusetts 1981). Para la relatividad general, véanse los distintos estudios incluidos en *Einstein and the History of General Relativity,* Don Howard y John Stachel, eds. (Birkhäuser, Boston 1989).

17. Albert Einstein, «Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt», *Annalen der Physik 17,* 132-148 (1905); «Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen», *Annalen der Physik 17,* 549-560 (1905); «Zur Elektrodynamik bewegter Körper», *Annalen der Physik 17,* 891-921 (1905).

18. Sobre Michelson, véanse los artículos incluidos en Stanley Goldberg y Roger H. Stuewer, eds., *The Michelson Era in American Science, 1870-1930* (American Institute of Physics, Nueva York 1988). Acerca de Lorentz, véase, por ejemplo, Tetu Hirosige, Origins of Lorentz' theory of electrons and the concept of the electromagnetic field», *Historical Studies in the Physical Sciences 1,* 151-209 (1969) y Russell McCormmach, «H. A. Lorentz and the electromagnetic view of nature», *Isis 61*, 457-497 (1970). Para un tratamiento más general del camino que condujo de la electrodinámica a la relatividad especial, consúltese Olivier Darrigol, *Electrodynamics from Ampère to Einstein* (Oxford University Press, Oxford 2000).

19. Reproducido en Y. Elkana y A. Ophir, eds., *Einstein 1879-1979*, *op. cit.*, p. 15.

20. La gravitacional (descrita por la relatividad general) sólo cumple este requisito en un tipo de límite.

21. Albert Einstein, «Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?», *Annalen der Physik 18*, 639-641 (1905).

22. Hermann Minkowski, «Raum und zeit», *Physikalische Zeitschrift 10,* 104-111 (1909). De hecho, Minkowski presentó su formulación cuatridimensional de la relatividad especial antes, durante una conferencia que dictó el 5 de noviembre de 1907 en la Sociedad Matemática de Gotinga. El texto de esta conferencia no fue publicado, sin embargo, hasta 1915 (Minkowski falleció en 1909): Hermann Minkowski, «Das Relativitätsprinzip», *Annalen der Physik 47*, 927-938 (1915). Su primera publicación en este dominio fue: Hermann Minkowski, «Die Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern», *Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-physikalische Klasse. Nachrichten*, 53-111 (1908). Sobre Minkowski y la relatividad, véase Peter Galison, «Minkowski's space-time: From visual thinking to the absolute world», *Historical Studies in the Physical Sciences 10*, 85-121 (1979); Lewis Pyenson, «Hermann Minkowski and Einstein's theory of relativity», *Archives for History of Exact Sciences 17*, 71-95 (1977); y Leo Corry, «Hermann Minkowski and the postulate of relativity», *Archives for History of Exact Sciences 51*, 273-314 (1997).

23. Citado en Fritz Stern, *Einstein's German World* (Princeton University Press, Princeton 1999), p. 112. Existe traducción al español de este libro: *El mundo alemán de Einstein* (Paidós, Barcelona 2003).

24. Albert Einstein, «Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen», *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik 4*, 411-462 (1907).

25. Albert Einstein y Marcel Grossmann, «Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation» («I. Physikalischer teil» por A. Einstein; «II. Mathematischer teil» por M. Grossmann) (Teubner, Leipzig 1913), 38 pp. Casi un año más tarde, apareció en la revista científica *Zeitschrift für Mathematik und Physik 62*, 225-259 (1914).

26. *Briefwechsel zwischen K. F. Gauss und H. C. Schumacher*, C. A. F. Peters, ed., 6 vols. (Altona, 1860-1865). Eugenio Beltrami, «Saggio di interpretazione della geometria noneuclidea», *Giornale di Matematiche 6*, 284-312 (1868). Bernhard Riemann, «Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grande liegen», *Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 13* (1868), reimpreso en B. Riemann, *Gesammelte mathematische Werke und wissenschaftlicher Nachlass* (Teubner, Leipzig 1892), pp. 272-287.

27. Gregorio Ricci y Tullio Levi-Civita, «Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications», *Mathematische Annalen 54,* 125-201 (1901). Este artículo aparece citado en la parte matemática del trabajo de Einstein y Grossmann citado anteriormente.

28. He desarrollado este argumento en José M. Sánchez Ron, *El triángulo mágico: física, matemáticas y filosofía a propósito de Albert Einstein*, lección inaugural del curso 2003-2004, Universidad Autónoma de Madrid (Cantoblanco 2003).

29. Albert Einstein, «Die Feldgleichungen der Gravitation», *Koniglich Preussische Akademie der Wissenschaften (Berlin). Sitzungsberichte*, 844-847 (1915).

30. Albert Einstein, «Kosmologische Betrachtungen zur allegemeinen Relativitätstheorie», *Preussisiche Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, pp. 142-152 (1917).

31. Edwin Hubble, «A relation between distance and radial velocity among extragalactic nebulae», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. 15*, 168-173 (1929), y Edwin Hubble y Milton L. Humason, «The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae», *Astrophysical Journal 74*, 43-80 (1931).

32. Una buena referencia es el volumen colectivo titulado *The Comparative Reception of Relativity,* Thomas E. Glick, ed. (Reidel, Dordrecht 1987). Véanse, asimismo, Stanley Goldberg, *Understanding Relativity* (Clarendon Press, Oxford 1984), y Stephen G. Brush, «Why was relativity accepted?», *Physics in Perspective 1*, 184-214 (1999).

33. Hendrik A. Lorentz, «Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light», *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Section of Sciences. Proceedings 6,* 801-831 (1904).

34. Hendrik A. Lorentz, *The Theory of Electrons* (primera edición 1909; segunda edición 1915). La cita está tomada de la edición publicada por Dover (Nueva York 1952), p. 229.

35. *Ibid.*, p. 321.

36. Henri Poincaré, «Sur la dynamique de l'électron», *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo 21,* 129-154 (1906). Antes, Poincaré había publicado un resumen de sus ideas: Henri Poincaré, «Sur la dynamique de l'électron», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 140*, 1.504-1.508 (1905). Estos trabajos de Poincaré han sido estudiados por Arthur I. Miller, «A study of Henri Poincaré's "Sur la dynamique de l'électron"», *Archive for History of Exact Sciences 10,* 207-328 (1973). Véase también Peter Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps* (W. W. Norton, Nueva York 2003).

37. Max Planck, «Autobiografía científica», en *Autobiografía científica y otros escritos* (Nivola, Madrid 2000), pp. 21-52; pp. 47-49. El original alemán apareció en 1948: Max Planck, *Wissenschaftliche Selbstbiographie* (Barth, Leipzig). Además, Planck contribuyó al desarrollo científico de la nueva teoría escribiendo el que fue probablemente el primer artículo sobre ella: Max Planck, «Das Prinzip der Relativität und die Grundgleichungen der Mechanik», *Deutsche Physikalische Gesellschaft. Verhandlungen 8*, 136-141 (1906).

38. Stanley Goldberg, «In defense of ether: the British response to Einstein's theory of relativity, 1904-1911», *Historical Studies in the Physical Sciences 2,* 89-124 (1970). El punto de vista de Goldberg se critica en J. M. Sánchez Ron, «The reception of special relativity in Great Britain», en *The Comparative Reception of Relativity, op. cit*., pp. 27-58. Véase también J. M. Sánchez Ron, «The reception of general relativity among British physicists and mathematicians (1915-1930)», en *Studies in the History of General Relativity, Einstein Studies,* vol. 3 (Birkhaüser, Boston 1992), pp. 57-88.

39. Un ejemplo, no exento de un cierto dramatismo, de las dificultades matemáticas que algunos físicos experimentaron ante la teoría de la relatividad general es el caso de Oliver Lodge (1851-1940), un físico británico muy distinguido, *professor* de Física en Liverpool y posteriormente rector de la Universidad de Birmingham, que contribuyó de manera importante al desarrollo del electromagnetismo. Lodge encontró la relatividad general bastante difícil de comprender, especialmente debido a sus limitados conocimientos de matemáticas. En una fecha tan tardía como el 27 de mayo de 1929, confesaba sus limitaciones a Edmund Whittaker, catedrático de Matemáticas Aplicadas en Edimburgo: «Le agradezco que me enviase su conferencia sobre "¿Qué es la energía?" [E. T. Whittaker, "What is energy?", *Mathematical Gazette* (abril de 1929), pp. 401-406]. Pero estoy horrorizado al comprobar que no la puedo seguir; esto es, comprenderla completamente. Más bien, me sorprende que los tensores tengan que ser introducidos en conexión con una cosa tan fundamental como la energía. Ni siquiera sé lo que es un tensor. Sé que un vector es un escalar con dirección al igual que magnitud. Uno se ha acostumbrado a utilizar vectores. Pero, ¿qué son realmente? ¿Se trata de un *twist* [enroscadura], o lo que Robert Ball denominó un *wrench* [torcedura]? A mi edad no voy a aprender el cálculo tensorial, pase lo que pase. Y me sorprende bastante que la conservación de la energía se haya mezclado con la conservación del momento, para lograr una formulación completa». Citado en J. M. Sánchez Ron, «Larmor *versus* general relativity», en *The Expanding Worlds of General Relativity*, H. Goenner, J. Renn, J. Ritter y T. Sauer, eds. (Birkhäuser, Boston 1999), pp. 405-430; p. 408.

40. Copia depositada en los fondos del Archivo para la Historia de la Física Cuántica, American Philosophical Society, Filadelfia. Para una descripción de este archivo, véanse Thomas S. Kuhn, John L. Heilbron, Paul L. Forman y Lini Allen, *Sources for History of Quantum Physics. An Inventory and Report* (The American Philosophical Society, Filadelfia 1967).

41. Alfred N. Whitehead, *Science and the Modern World* (Cambridge University Press, Cambridge 1946; primera edición de 1926), p. 13.

42. Véase por ejemplo, John Earman y Clark Glymour, «Relativity and eclipses: The British eclipse expeditions of 1919 and their predecessors», *Historical Studies in the Physical Sciences 11*, 49-85 (1980).

43. Albert Einstein, «Time, space, and gravitation», *The Times* (Londres), 28 de noviembre de 1919, pp. 13-14.

44. Se pueden encontrar más detalles con ejemplos concretos, en Jeffrey Crelinsten, «Einstein relativity, and the press. The myth of incomprenhensibility», *The Physics Teacher* (febrero de 1980), pp. 115-122; Thomas F. Glick, *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras* (Alianza, Madrid 1986); Michel Biezunski, *La diffusion de la théorie de la relativité en France,* tesis de doctorado de tercer ciclo (Université Paris VIl, París 1981).

45. Archivos Einstein; Boston y Universidad Hebrea de Jerusalén.

46. La primera edición del *Report on the Relativity Theory of Gravitation* (Physical Society, Londres) apareció en 1918; se volvió a imprimir en 1920.

47. Más detalles en John Stachel, «Eddington y Einstein», en J. Stachel, *Einstein from «B» to «Z»* (Birkhäuser, Boston 2002), pp. 453-475.

48. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1917.

49. Estos datos proceden de Armin Hermann, *Einstein en privado* (Ediciones Temas de Hoy, Madrid 1997; edición original en alemán de 1994), p. 235.

50. Abraham Pais, «*Subtle is the Lord...» The Science and Life of Albert Einstein* (Clarendon Press, Oxford 1982), capítulo 16. Existe versión al español publicada por Ariel.

51. Lewis Pyenson, *Cultural Imperialism and Exact Sciences* (Peter Lang, Nueva York 1985).

52. Citado en F. Stern, *Einstein's German World, op. cit.*, p. 136.

53. Archivos Einstein.

54. Lewis Elton, «Einstein, general relativity, and the German press, 1919-1920», *Isis* 77, 95-103 (1986). Consúltese, asimismo, Thomas F. Glick, «Cultural issues in the reception of relativity», en Th. F. Glick, ed., *The Comparative Reception of Relativity, op. cit.*, pp. 381-400.

55. Marshall Missner, «Why Einstein became famous in America», *Social Studies of Science 15,* 267-291 (1985).

56. Es apropiado en este punto citar las siguientes palabras de Arthur C. Clarke («Einstein and science fiction», en *Einstein. The First Hundred Years,* M. Goldsmith, A. MacKay y J. Woudhusen, eds. [Pergamon Press, Oxford 1980], pp. 159-161; p. 160): «El impacto de la relatividad en la ciencia-ficción ha sido enorme y podría constituir la base de un importante proyecto para alguno de los muchos investigadores que ahora exploran este campo. Después de 1919, por supuesto, todo escritor que se aventurase a salir del sistema solar tenía que tener a Einstein en cuenta».

57. Albert Einstein, «Motive des Forschens», en *Zu Max Plancks sechzigstem Geburtstag* (C. F. Müllersche Hofbuchhandlung, Karlsuhe 1918), pp. 29-32; versión española («Principios de investigación») en Albert Einstein, *Mis ideas y opiniones* (Bon Ton, Barcelona 2000), pp. 199-202; p. 200.

58. Reproducida en R. Schulmann, A. J. Kox, M. Janssen y J. Illy, eds., *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 8, parte B, *op. cit.*, p. 959. Merece la pena citar otros pasajes de esta interesante carta: «Una cosa realmente importante se ha conseguido. La religión militar ha desaparecido. Creo que no volverá ya más. Nada ha tomado su lugar, por supuesto. Mientras que el sur de Alemania promete desarrollarse más según el modelo suizo, aquí el ejemplo ruso prevalece inquietantemente... Las reuniones de la Academia [Prusiana de Ciencias] son divertidas ahora; los viejos tipos se encuentran en su mayor parte desorientados y sorprendidos. Perciben la nueva era como un triste carnaval y echan de menos el mundo perdido, cuya desaparición ha significado tanta liberación para los que son como nosotros».

59. Albert Einstein, *New York Times*, 28 de abril de 1948, p. 2; versión al castellano («Al recibir un premio mundial») en *Mis ideas y opiniones*, *op. cit.*, p. 129.

60. Albert Einstein, «Why socialism?», *Monthly Review I*, n.° 1, pp. 9-15 (mayo de 1949); versión al castellano («¿Por qué el socialismo?») en *Mis ideas y opiniones*, *op. cit.*, pp. 133-139; p. 139.

61. Albert Einstein, «The 1932 Disarmament Conference», *The Nation 133* (Nueva York 1931), p. 300; versión en castellano («La Conferencia para el Desarme de 1932»), en *Mis ideas y opiniones*, *op. cit.*, pp. 83-84.

62. Sigo aquí la reconstrucción que de aquella reunión hizo Armin Hermann, *Einstein en privado*, *op. cit.*, pp. 227-228.

63. *Ibid.*, pp. 226-227. Véase también Hubert Goenner, «The reaction to relativity theory I: The anti-Einstein campaign in Germany in 1920», *Science in Context 6*, 107-133 (1993).

64. Albert Einstein, «Meine Antwort. Über die anti-relativitätstheoretische G. m. b. H.», *Berliner Tageblatt*, ser. 49, n.° 402, 27 de agosto de 1920, p. 1. Reproducido, en versión inglesa, en Klaus Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources* (Birkhäuser, Basilea 1996), pp. 1-5.

65. *Die Berliner Westen*, n.° 212, 20 de septiembre de 1922, p. 6.

66. Hans Israel, Erich Ruckmann y Rudolf Weinmann, eds., *Hundert Autoren gegen Einstein* (Voigtländer, Leipzig 1931). Este panfleto ha sido estudiado por Hubert Goenner, «The reaction to relativity theory in Germany, III: "A hundred authors against Einstein"», en J. Earman, M. Janssen y J. D. Norton, eds., *The Atraction of Gravitation* (Birkhäuser, Boston 1993), pp. 248-273.

67. Reproducido, al igual que las citas que siguen, en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, *op. cit.*, pp. 183-186.

68. Fred Jerome, *El expediente Einstein* (Planeta, Barcelona 2002; primera edición en inglés de 2002).

69. http://foia.fbi.gov/einstein.htm. Allí se pueden consultar los documentos de personajes como Humphrey Bogart, Bertolt Brecht, William Faulkner, Martin Luther King, John Lennon, Thomas Mann, Pablo Ruiz Picasso, George Orwell, Eleanor Roosevelt, Frank Sinatra, John Steinbeck o John Wayne, entre muchos otros.

70. F. Jerome, *El expediente Einstein*, *op. cit.*, pp. 52-53.

71. *Ibid.*, p. 61.

72. No se trataba sólo de Hoover. Había más personas. Así, el 25 de octubre de 1945, John Rankin, representante de Misisipi y admirador del general Franco, manifestaba en el Congreso: «Ya es hora de que el pueblo americano sepa quién es Einstein... Debería ser encarcelado».

73. *Ibid.*, p. 93.

74. En el expediente de Einstein del FBI hay doce páginas dedicadas a la «Cruzada Americana para Poner Fin a los Linchamientos».

75. Boris Hessen, «The social and economic roots of Newton's "Principia"», en *Science at the Cross Roads* (Frank Cass, Londres 1971; primera edición de 1931), pp. 147-212.

76. Esta idea la expresó, para la poesía, de manera espléndida I. A. Richards *(Poetries and Sciences* [1970]): «El poeta describe su experiencia total. Un poema es una expresión y un modo de ordenar su experiencia. Un hombre de ciencia trata de describir tan sólo experiencia perceptiva».

77. Acerca de las ideas políticas de Einstein, la mejor referencia es *Einstein on Peace,* Otto Nathan y Heinz Norden, eds. (Schocken Books, Nueva York 1968).

78. Algunas cuestiones que trato a continuación se encuentran más desarrolladas en Linda D. Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* (Princeton University Press, Princeton 1983), y Lucy Aldeman y Michael Compton, «Mathematics in early abstract art», en *Towards a New Art: Essays on the Background to Abstract Art, 1920-1920* (The Tate Gallery, Londres 1980), pp. 64-89.

79. Eugène Figuière, París 1912.

80. Véase su conocido libro, *Les peintres cubistes. Méditations esthétiques* (Eugène Figuière, París 1913).

81. *Modern Art and Modern Science* (Traeger, Nueva York 1984).

82. Sobre este movimiento artístico, véase *De Stijl: 1917-1931. Visiones de Utopía*, Mildred Friedman, coord. (Alianza, Madrid 1986). Acerca de van Doesburg, el espacio-tiempo y el arte, Linda D. Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art, op cit.*, pp. 321-334 («Van Doesburg's pursuit of an art for the world of space-time»).

83. Th. van Doesburg, «Ovar het zien van de Nieuwe Kunst», *De Stijl*, 62-64 (1919). Citado en Cornelis van de Ven, *El espacio en arquitectura* (Cátedra, Madrid 1977), p. 256.

84. Th. van Doesburg, «Tot een beeldende architectuur», *De Stijl VI*, 617, 78-83 (1924). Traducción inglesa en Joost Baljeu, *Theo van Doesburg* (Macmillan, Nueva York 1974), pp. 142-147.

85. Al llegar a este punto, merece la pena alertar ante las indiscriminadas manifestaciones relativas a los «inconscientes paralelismos entre ciencia y arte» realizadas por Siegfried Giedion en su influyente libro, *Space, Time and Architecture* (publicada inicialmente en 1941, esta obra vio 5 ediciones y 16 reimpresiones hasta 1967).

86. Un estudio más completo (salvo en lo que se refiere a Lovecraft) se encuentra en Alan J. Friedman y Carol C. Donley, *Einstein as Myth and Muse* (Cambridge University Press, Cambridge 1985).

87. A. J. Friedman y C. C. Donley, *Einstein as Myth and Muse, op. cit.*, pp. 106-107.

88. Un estudio más completo se encuentra en José M. Sánchez Ron, «Lovecraft, la ciencia y los terrores espacio-temporales», *Revista de Occidente*, n.° 115, pp. 57-76 (diciembre de 1990).

89. Lovecraft a Clark Ashton Smith, 17 de octubre de 1930. H. P. Lovecraft, *Selected Letters (1929-1931). III* (Arkham House, Suak City, Wisconsin 1971), p. 197.

90. *Ibid.*

91. M. Schlick, «Die philosophische Bedeutung des Relatitätsprinzips», *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik 159*, 129-175 (1915).

92. K. Gödel, «A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy» en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist,* Paul A. Schilpp, ed. (Open Court, La Salle, Illinois 1949), pp. 555-562.

93. Reproducido en «Autobiographical sketches for academic purposes», en Hans Reichenbach, *Selected Writings, 1909-1953*, Maria Reichenbach y Robert S. Cohen, eds. (Reidel, Dordrecht 1978), vol. I, p. 2.

94. Karl R. Popper, «Autobiography», en *The Philosophy of Karl Popper*, Paul A. Schillp, ed. (The Open Court, La Salle, Illinois 1976), pp. 1-181; pp. 28-29.

95. P. W. Bridgman, «Einstein's theories and the operational point of view», en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, *op. cit.*, pp. 333-354; p. 336.

96. Un estudio más detallado de Bridgman y la teoría especial de la relatividad se encuentra en: Arthur I. Miller, «P. W. Bridgman and the special theory of relativity», «Introduction» a P. W. Bridgman, *A Sophisticate's Primer of Relativity* (Wesleyan University Press, Middletown, Connecticut, 1983), pp. VII-XVIII; Maila L. Walter, *Science and Cultural Crisis. An Intellectual Biography of Percy Williams Bridgman (1882-1961)* (Stanford University Press, Stanford 1990), capítulo 5.

97. Alfred N. Whitehead, *The Principle of Relativity* (Cambridge University Press, Cambridge 1922).

98. H. Wildon Carr, T. P. Nunn, A. N. Whitebead y Dorothy Wrinch, «Discussion: The idealistic interpretation of Einstein's theory», *Proceedings of the Aristotelian Society 22*, 123-138 (1922).

99. Bertrand Russell, «Philosophical consequences of relativity», en *The Collected Papers of Bertrand Russell*, vol. 9 («Essays on language, mind and matter, 1916-1926») J. G. Slater, ed. (Unwin Hyman, Londres 1988), pp. 228-232; este artículo apareció en la decimotercera edición de *The Encyclopedia Britannica*, vol. 13, pp. 331-332. El año anterior Russell había publicado su libro de divulgación, *The ABC of Relativity* (Kegan Paul, Londres 1925).

100. C. A. Strong, «Mr. Russell's theory of the external world», *Mind 31*, 307-320 (1922); B. Russell, «Physics and perception», *Mind 31*, 478-485 (1922); C. A. Strong, «Rejoinder», *Mind 31*, 486-488 (1922).

101. Esta carta ha sido publicada en *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 9 (*The Berlin Years. Correspondence, January 1919-April 1920*), Diana Kormos Buchwald *et al.*, eds. (Princeton University Press, Princeton 2004), pp. 527-528. Al igual que las que utilizo a continuación, se encuentra en el Archivo Einstein, Universidad Hebrea de Jerusalén. Rey Pastor se hallaba en Alemania pasando unos meses como pensionado de la Junta para Ampliación de Estudios, pero de manera que él se pagaba los gastos de estancia recibiendo dos mil pesetas para gastos de viaje en concepto de delegado de la Junta, cuyo Laboratorio y Seminario Matemático dirigía. Véase en este sentido, José M. Sánchez Ron, «Julio Rey Pastor y la Junta para Ampliación de Estudios», en *Estudios sobre Julio Rey Pastor (1888-1962)*, Luis Español González, ed. (Instituto de Estudios Riojanos, Logroño 1990), pp. 9-41; p. 24.

102. Reproducido en José Ortega y Gasset, *Obras completas*, tomo III (*1917/1925*) (Taurus, Madrid 2005), p. 414.

103. José Ortega y Gasset, «Con Einstein en Toledo», reproducido en *Obras completas*, tomo III, *op. cit.*, pp. 521-525; p. 521.

104. José Ortega y Gasset, *El tema de nuestro tiempo*; reproducido en *Obras completas*, tomo III, *op. cit.*, pp. 557-652; p. 571.

105. Este episodio de la biografía de Einstein se estudia en José M. Sánchez Ron y Thomas F. Glick, *La España posible de la Segunda República: la oferta de una cátedra extraordinaria en la Universidad Central (Madrid 1933)* (Editorial de la Universidad Complutense, Madrid 1983).

106. Durante su estancia en Londres Ayala se creó un círculo cultural y político que incluía personajes como el príncipe de Gales, el duque de Windsor, Rutherford y Juan de la Cierva, que se encontraba en Londres porque había formado allí una empresa para el desarrollo comercial del autogiro. Sabemos a través de Marguerite C. Rand, autora de un libro sobre Pérez de Ayala, que tuvo ocasión de entrevistarse detenidamente con su viuda, Mabel Rick, que después de abandonar Alemania, Einstein pasó dos semanas en la embajada en Londres «como amigo de Pérez de Ayala». Alusiones a esta estancia aparecen en la correspondencia entre Ayala y Einstein, correspondencia a la que pasaremos revista más adelante. También señala Rand que cuando ella visitó la casa de De Ayala en Madrid todavía se podía contemplar una fotografía dedicada de Einstein. M. C. Rand, *Ramón Pérez de Ayala* (Twayne Publ., Nueva York 1971).

107. Véase Jacobo Israel Garzón, «El primer catedrático judío de la España contemporánea: Abraham Yahuda», *Raíces*, n.° 19, pp. 29-39 (1994).

108. Se sabe que llegó a España (entrando por Barcelona) en el otoño de 1913, y que visitó Madrid y viajó por Andalucia. En mayo de 1914 fue recibido por el rey Alfonso XIII. Aunque abandonó su cátedra en 1923, ya se había distanciado de ella y de España al menos desde 1919, cuando pasó un tiempo en Londres.

109. Citado en J. I. Garzón, «El primer catedrático judío en la España contemporánea», *op. cit.*, p. 32.

110. Las cartas que cito proceden en su mayoría de los archivos Einstein (Universidad Hebrea de Jerusalén).

111. *New York Times*, 12 de abril de 1933.

112. Véase *El Sol*, p. 40.

113. Reproducida en Luce Langevin, «Paul Langevin et Albert Einstein d'après une correspondance et des documents inédits», *La Pensée* 161, pp. 29-31, febrero de 1972. Una traducción al inglés algo deficiente aparece en *Einstein on Peace*, O. Nathan y N. Norden, eds., p. 221 (Schocken Books, Nueva York 1968). De este último libro existe traducción al castellano (*Escritos sobre la paz*, Península, Barcelona 1969).

1934 cuando apareció su última colaboración, fueron ocho los artículos que escribieron juntos. Ningún otro colaborador firmaría tantos trabajos con Einstein.

114. El presidente del Gobierno (constituido el 18 de diciembre de 1933) era el radical Alejandro Lerroux, con José Pareja como ministro de Instrucción Pública.

115. Parece ser que este dinero fue asignado al Seminario de Matemáticas de la universidad, permaneciendo en el presupuesto hasta la década de 1960.

116. Finalmente Laue no abandonaría Alemania. Entre las razones que se pueden citar para explicar este hecho se encuentran las siguientes: en primer lugar está el que Laue era un auténtico patriota, amaba profundamente a su país, al que además consideraba vejado por las Potencias Aliadas a raíz de la derrota en la Primera Guerra Mundial; permaneciendo en Alemania quería colaborar a preservar el espíritu de su ciencia.

117. Albert Einstein y Leopold Infeld, *The Evolution of Physics* (Nueva York 1938).

118. Es interesante citar lo que Yahuda escribió sobre *El Debate* cuando, en sus recuerdos de España, se refería a Ignacio Bauer, un judío austríaco que residía en Madrid y que se encargaba de dirigir los negocios de los Rothschild en España. «En toda España era sabido que los Rothschild y Bauer eran judíos, y el único día que la casa Rothschild estaba cerrada por ser judía era el día de *Kipur*. Ese día se encerraba Bauer en su casa y nadie le podía molestar. De esa manera afirmaba su judaísmo, pero no le gustaba unirse a los pocos judíos que se reunían ese día en casa de Salcedo [un judío de Bayona, que era anticuario en Madrid, en donde se había instalado a mediados del siglo XIX, y que logró una gran fortuna]. Era el tipo mismo de judío asimilado. Dio su hija al duque de Bayona, un noble descendiente de marranos, y su hijo primogénito se convirtió y se volvió católico tan devoto que los jesuitas lo llamaban "uno de los pilares del catolicismo", y, viviendo solitario, dio toda su gran fortuna en herencia al Papa. Toda su vida sostuvo el diario *El Debate*, el más importante y más difundido de los diarios clericales. Era uno de los diarios que me "honró" en cada ocasión con artículos llenos de odio y veneno, y siempre atacaba a los judíos que querían volver a España. El segundo hijo de los Bauer heredó el puesto de su padre en la casa Rothschild y no se convirtió. Pero, como su padre, no observaba el día de *Kipur* como se debe, y tornó a ser un súbdito español asimilado.» A. S. Yahuda, «Mis recuerdos de España», *Raíces* n.° 19, pp. 40-51 (1994), p. 45. Estos recuerdos aparecieron inicialmente (en hebreo) entre 1949 y 1950 en el semanario *Hed Hamizrá*.

119. Efectivamente, Terradas tuvo problemas con su cátedra de Ecuaciones Diferenciales. La historia, brevemente, es como sigue: el 5 de diciembre de 1928 —esto es, durante la dictadura de Primo de Rivera— el ministro de Instrucción Pública, a propuesta de la Universidad de Madrid, encomendaba a Terradas la nueva cátedra de Ecuaciones Diferenciales, por acuerdo unánime del claustro. En 1931, a poco del advenimiento de la República, Terradas era destituido de su cargo de director de la Telefónica, y los mismos profesores, colegas y discípulos que le habían votado con entusiasta unanimidad para la cátedra votaban ahora para desalojarlo, proponiendo que saliera a oposición y eligiendo en cuanto estaba a su alcance jueces adecuados para sus planes (votaron en contra Plans, Palacios y Caballero). Las oposiciones se realizaron en julio de 1932. Terradas no conseguiría aprobarlas, aparentemente porque le pusieron un problema que era imposible resolver en el tiempo dado. El 30 de noviembre de ese mismo año, Terradas se incorporaba a la Universidad de Barcelona en la cátedra de Mecánica Racional.

120. El acto de Bilbao había sido un mitin en el que participó Azaña, y en el que se habló de la cultura en España.

1. La literatura relativa a la Primera Guerra Mundial es muy abundante. Se pueden consultar, por ejemplo, Marc Ferro, *La Gran Guerra (1914-1918)* (Alianza, Madrid 1984), Pierre Renouvin, *La crisis europea y la Primera Guerra Mundial* (Akal, Madrid 1990) y Hew Strachan, *La Primera Guerra Mundial* (Crítica, Barcelona 2004).

2. Susan J. Douglas, «Technological innovation and organizational change: The Navy's adoption of radio, 1899-1919», en *Military Enterprise and Technological Change. Perspectives on the American Experience,* Merrit R. Smith, ed. (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1987), pp. 117-173.

3. El que pasasen a depender de, precisamente, la Armada, constituye otra muestra evidente de lo que ya señalé en el capítulo 2: que las aplicaciones que se preveían durante los primeros tiempos para la radio estaban relacionadas con la navegación.

4. J. L. Heilbron, *H. G. J. Moseley. The Life and Letters of an English Physicist, 1887-1915* (University of California Press, Berkeley 1974). De hecho, los científicos británicos utilizaron la muerte de Moseley como argumento de la estupidez del Ministerio de la Guerra. «La pérdida de este joven en el campo de batalla», escribió Ernest Rutherford, «es un ejemplo palpable de cómo se desperdicia el talento científico» (*Nature 96*, 33-34 [1915]).

5. También se fundó por entonces una Junta parecida para el ejército; esta agencia se ocupó sobre todo del tema de los explosivos.

6. Fisher dimitió porque se oponía «a seguir agotando los recursos de nuestra patria en los Dardanelos», y porque consideraba a su superior político, Winston Churchill, «un peligro todavía mayor que los alemanes»; citado en H. Strachan, *La Primera Guerra Mundial*, *op. cit.*, p. 173.

7. J. J. Thomson, *Recollections and Reflections* (G. Bell and Sons, Londres 1936), p. 206.

8. *Ibid.*, p. 213.

9. J. J. Thomson, «Anniversary address», *Proceedings of the Royal Society A 93*, 90-98 (1917), 93-94.

10. Como veremos enseguida, cuando Thomson pronunció su discurso ya se había constituido, aunque apenas le había dado tiempo a funcionar.

11. La historia de la creación del DSIR se describe en Roy MacLeod y E. Kay Andrews. «The origins of the D.S.I.R.: Reflections on ideas and men, 1915-1916», *Public Administration 48*, 23-48 (1970) y en Eric Hutchinson, «Scientists as an inferior class: the early years of the DSIR», *Minerva 8*, 396-411 (1970). Para una panorámica más general, veánse Peter Alter, *The Reluctant Patron. Science and the State in Britain, 1850-1920* (Berg, Oxford 1987), capítulo 4, y Roy y Kay MacLeod, «Las relaciones sociales de la ciencia y la tecnología, 1914-1939», en *Historia económica de Europa (5). El siglo XX*. Carlo M. Cipolla, ed. (Ariel, Barcelona 1981), pp. 324-388.

12. En el Imperio británico, en Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, Ceilán, India y Canadá, se copió inmediatamente el modelo.

13. Edward Pyatt, *The National Physical Laboratory. A History* (Adam Hilger, Bristol 1983), pp. 62 y ss.

14. Charles A. Parsons, «Presidential address», en *Report of the Eighty-seventh Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Bournemouth, 1919* (John Murray, Londres 1920), pp. 1-23; p. 22.

15. Frases de Sir Arthur Wilson, almirante de la Flota; citadas en R. Compton-Hall, *Submarine Boats. The Beginnings of Underwater Warfare* (Leicester 1983), p. 26.

16. La posibilidad de utilizar hidrófonos para detecciones submarinas había sido investigada en fecha tan temprana como 1896 por estadounidenses y británicos.

17. Aparentemente, Ryan no había oído hablar nunca de Rutherford, lo que da idea de sus conocimientos científicos. Sin embargo, era un diseñador y constructor de hidrófonos bastante hábil, aunque el hecho de que sus procedimientos fuesen completamente empíricos ponía un límite a sus posibilidades. G. M. Caroe, *William Henry Bragg, 1862-1942. Man and Scientist* (Cambridge University Press, Cambridge 1978). Para más información sobre los trabajos de detección de submarinos en Gran Bretaña, véase Guy Hartcup, *The War of Invention. Scientific Developments, 1914-1918* (Brassey's Defense Publications, Londres 1988), capítulo 7.

18. E. Rutherford y W. H. Bragg, «Improvements in apparatus for detecting the direction of sound in water», patente n.° 10.887, 2 de agosto de 1916 (The Patent Office). Bragg, que llevó las gestiones junto a la BIR, escribió a Rutherford que «únicamente sacamos [la patente] para proteger al Almirantazgo» (Bragg a Rutherford, 19 de mayo de 1919; Rutherford Archives, Cambridge University Library).

19. Citado en A. S. Eve, *Rutherford. Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford, O. M.* (MacMillan, Nueva York 1939), p. 251.

20. *Ibid.*, p. 255.

21. Sobre Langevin, véase Bernadette Bensaude-Vincent, *Langevin. Science et vigilance* (Belin, París 1987).

22. «Procédes et appareils pour la production de signaux sous-marins dirigés et pour la localisation d'obstacles sous-marins», *Brevet français*, n.° 502.913. Reproducida en *Oeuvres scientifiques de Paul Langevin* (CNRS, París 1950), pp. 527-537. En esta referencia se encuentran también otros trabajos de Langevin sobre acústica y ultrasonidos (el último de 1931).

23. El 17 de septiembre de 1918 Langevin obtuvo una patente con estos desarrollos: «Procédés et appareils d'émision et de réception des ondas élastiques sous-marines à l'aide des propriétés piézo-électriques du quartz», *Brevet français*, n.° 505.703. Reproducida en *Oeuvres scientifiques de Paul Langevin*, *op. cit.*, pp. 538-542. Después de la guerra, Langevin continuó rebajando en este campo y obteniendo patentes que le reportaron buenos dividendos (véase B. Bensaude-Vincent, *Langevin*, *op. cit.*, capítulo 5).

24. Willem D. Hackmann, «Sonar research and naval warfare, 1914-1954: A case study of a twentieth-century establishment science», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 16*, 83-110 (1986).

25. Robert A. Millikan, *The Autobiography of Robert A. Millikan* (MacDonald, Londres 1951), pp. 178-179.

26. J. J. Thomson, *Recollections and Reflections*, *op. cit.*, pp. 212-213.

27. El *Lusitania* era un buque de propiedad británica, que en aquel viaje, cierto es, transportaba municiones, pero era ante todo un barco de pasajeros, y entre los 1.201 que murieron había 128 ciudadanos norteamericanos.

28. A. Hunter Dupree, *Science in the Federal Government* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1986; primera edición de 1957), p. 306. Con la excepción de su aportación a la detección submarina, ésta fue la principal actividad durante la guerra del departamento en cuestión, al que me refiero inmediatamente. No obstante, no parece que diese mucho de sí: de unas 110.000 sugerencias recibidas, únicamente 110 merecieron un examen detallado y sólo una se llegó a poner en práctica. David F. Noble, *El diseño de Estados Unidos. La ciencia, la tecnología y la aparición del capitalismo monopolístico* (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Madrid 1987; primera edición en inglés de 1977), p. 209.

29. *The Autobiography of Robert A. Millikan*, *op. cit.*, p. 163. Para los proyectos de detección submarina estadounidenses, véase, además de esta obra, Daniel J. Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Alfred A. Knopf, Nueva York 1978), capítulos 8 y 9.

30. Daniel Kevles «George Ellery Hale, the First World War and the advancement of science», *Isis 59*, 427-437 (1968). El espíritu emprendedor y organizador de Hale se puede ver también en Robert H. Kargon, «Temple to science: cooperative research and the birth of the California Institute of Technology», *Historical Studies in the Physical Sciences 8*, 331 (1977), y en Judith R. Goodstein, *Millikan's School. A History of the California Institute of Technology* (W. W. Norton, Nueva York 1991).

31. Este borrador se encuentra reproducido en *Science in America. A Documentary History*, *1900-1939*, Nathan Reingold e Ida H. Reingold, eds. (The University of Chicago Press, Chicago 1981), pp. 234-236.

32. *Ibid.*, p. 237. Acerca de estos episodios, consúltese también D. J. Kevles, *The Physicists*, *op. cit.*, capítulo 8.

33. En sus memorias Millikan señaló este punto con claridad: Hale «tenía todavía en mente vagamente la Royal Institution de Gran Bretaña como un modelo y esperaba enrolarme como un oficial permanente de la Academia, residente en Washington. Mi principal preocupación era, sin embargo, ayudar a la guerra». *The Autobiography of Robert A. Millikan*, *op. cit.*, p. 165.

34. A. H. Dupree, *Science in the Federal Government*, *op. cit.*, p. 323.

35. Estos aspectos de la política de las fundaciones estadounidenses se desarrollan en Robert E. Kohler, *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists, 1900-1945* (Chicago University Press, Chicago 1991).

36. Sobre la Fundación Rockefeller, véase, por ejemplo, Raymond B. Fosdick, *La Fundación Rockefeller* (Biografías Gandesa, México 1957).

37. Citada en *The Autobiography of Robert A. Millikan*, *op. cit.*, pp. 199-200.

38. A partir de 1920 se dieron becas también para medicina; desde 1923 se concedieron asimismo para biología, matemáticas, astrofísica y geofísica.

39. Datos extraídos de R. E. Kohler, *Partners in Science*, *op. cit.*, pp. 102, 103 y 107.

40. Los ejemplos que se pueden utilizar en este punto son múltiples (en lo que sigue aparecerán algunos clásicos). Veamos uno. El helio, que hasta entonces era casi una rara curiosidad de los laboratorios químicos, pasó a ser solicitado en abundancia para inflar globos y dirigibles. En Estados Unidos, por ejemplo, el Bureau of Mines (Agencia de Minas) tenía alguna experiencia en este campo y por consiguiente fue el primer centro que se ocupó de tal cuestión. El Ejército de Tierra, la Marina y el NRC se interesaron también en el problema, estableciendo esta última agencia una comisión que reunía científicos e ingenieros. Fruto de todos estos trabajos fue el establecimiento de tres plantas de producción en Texas (cada una utilizaba un método de producción diferente). Desgraciadamente, sólo comenzaron a producir helio poco antes de que terminase la guerra, aunque a partir de ese momento Estados Unidos (la Marina en particular) pasó a ser el principal productor del mundo.

41. Peter Hayes, *Industry and Ideology. IG Farben in the Nazi Era* (Cambridge University Press, Cambridge 1987), p. 10; John J. Beer, *The Emergence of the German Dye Industry* (The University of Illinois Press, Urbana 1959), capítulo 12.

42. Williams Haynes, *El frente químico* (Emecé Editories, Buenos Aires 1945; edición original en inglés de 1943), pp. 36-37.

43. La cordita era la pólvora sin humo empleada por los británicos. Junto a la dinamita, se empleaba en los cañones, en cargas de profundidad y en tareas de demolición.

44. Asociada a Deutsche Gasolin, dominaba el mercado petrolífero alemán; con Glanzstoff-Bemberg controlaba la industria del rayón, y a través de sus acciones en Nobel y Rheinisch-Westfalische estaba ligada a los explosivos.

45. Estados Unidos estaba acostumbrado a obtener los nitratos que necesitaba directamente de Chile, por ello no estaba muy familiarizado con los procesos de síntesis industrial que se acababan de desarrollar en Alemania. Al aumentar mucho la demanda a causa de la guerra, la situación cambió, estableciéndose una planta de producción en Muscle Shoald, Alabama, que aunque no contribuyó apreciablemente al suministro sí sentó las bases para la futura industria química estadounidense de nitratos.

46. La historia de la creación de Du Pont es interesante. Su fundador fue un francés, Eleuthère Irene du Pont, que había comenzado a formarse en el establecimiento nacional de pólvora de París (que dirigía Lavoisier) en 1787. Cuando estalló la Revolución en 1789, la familia Du Pont esperó que trajera consigo reformas sociales y políticas que consideraban urgentes, pero lo que trajo, en 1799, fue el encarcelamiento del padre de Eleuthère, Pierre Samuel du Pont de Nemours, que fue sentenciado a muerte, acusado por Robespierre. Sin embargo, éste sufrió antes las consecuencias del letal artefacto atribuido al doctor Guillotin, y Pierre Samuel fue liberado. Considerando, no obstante, que Francia era un lugar peligroso e inestable, la familia Du Pont embarcó rumbo a América. Allí, en 1801, Eleuthère formó la compañía Du Pont, para la fabricación de pólvora, en compañía de tres inversores europeos y dos americanos, todos amigos o conocidos de los Du Pont: Jacques Bidermann, un banquero suizo que vivía en París; Louis Necker, hermano de Jacques Necker, antiguo ministro de finanzas de Luis XVI; el banco parisino Catoire, Duquesnoy & Cie. (Adrien Duquesnoy había sido encarcelado con Pierre Samuel du Pont durante la Revolución); Archibald MacCall, un prominente comerciante de Filadelfia, y Peter Bauduy, amigo de este último. Sobre Du Pont, consúltese David A. Hounshell y John Kenly Smith, Jr., *Science and Corporate Strategy. Du Pont R&D, 1902-1980* (Cambridge University Press, Cambridge 1988) y Adrian Kinnane, *Du Pont: From the Banks of the Brandywine to Miracles of Science* (E. I. du Pont de Nemours and Company, Wilmington, Delaware 2002).

47. La diversificación es especialmente patente en el campo de la industria de los tintes, que aunque continuó desarrollándose después de la guerra, ya nunca tendría la misma posición dominante dentro de la industria química que había mantenido hasta 1914. Acerca de este punto, véase J. J. Beer, *The Emergence of the German Dye Industry*, *op. cit.*, pp. 101-102.

48. Citado en A. Thackray, J. L. Sturchio, P. T. Carroll y R. Bud, *Chemistry in America*, *1876-1976* (Reidel, Dordrecht 1985), p. 100.

49. Es oportuno en este punto repetir una cita de Justus von Liebig que ya utilicé en el capítulo 2. Liebig, como vimos entonces, se había interesado en las aplicaciones de la química a la agricultura, como mostró en su libro: *Chemie in ihre Anwendung auf Agricultur und Physiologie* (*Química orgánica y sus aplicaciones a la agricultura y a la fisiología*; 1840), en el que escribió: «No podemos suponer que una planta puede llegar a su madurez, incluso en el medio vegetal más rico, sin la presencia de materia que contenga nitrógeno, ya que sabemos que existe nitrógeno en todas las partes de la estructura vegetal. En consecuencia, la primera y más importante pregunta que hay que contestar es: ¿Cómo y en qué forma suministra la naturaleza nitrógeno al albumen vegetal, y gluten a frutas y semillas? Como sabemos, las plantas crecen perfectamente en carbón vegetal puro si al mismo tiempo se las suministra agua de lluvia. El agua de lluvia contiene nitrógeno solamente de dos formas: bien como aire atmosférico disuelto, o como amoníaco, que consiste de ese elemento [nitrógeno] y de hidrógeno. Ahora bien, el nitrógeno del aire no se puede combinar con ningún elemento excepto con el oxígeno, incluso recurriendo a los medios químicos más poderosos. No tenemos ninguna razón para creer que el nitrógeno de la atmósfera tome parte en los procesos de asimilación de plantas y animales; por el contrario, sabemos que muchas plantas emiten el nitrógeno que absorben sus raíces, bien en forma gaseosa o disuelto en agua. Por otra parte, existen numerosas pruebas que muestran que la formación en plantas de sustancias que contienen nitrógeno, tales como el gluten, tiene lugar en proporción a la cantidad de este elemento que es transportado hacia sus raíces en forma de amoníaco, derivado de la putrefacción de materia animal».

50. No era sólo Crookes quien temía por los suministros futuros de los abonos naturales: hacia 1900 algunos sospechaban que los depósitos naturales de nitratos se agotarían en unos treinta años.

51. William Crookes, «Presidental address», en *Report of the Sixty-eight Meeting of the British Association for the Advancement of Science held at Bristol in September 1898* (John Murray, Londres 1899), pp. 3-38; pp. 4-5.

52. *Ibid.*, p. 13.

53. *Ibid.*, pp. 17-18.

54. El valor del nitrato sudamericano dio origen a la conocida como «guerra del nitrato», que mantuvieron entre 1879 y 1883 Bolivia, Chile y Perú por los depósitos del desierto de Atacama. También se utilizaba fosfato de África del Norte.

55. Los tres recibieron el premio Nobel de Química. Van't Hoff el primero (1901), Arrhenius el tercero (1903) y Ostwald el noveno (1909).

56. Citado en Dietrich Stolzenberg, *Fritz Haber. Chemist, Nobel Laureate, German, Jew* (Chemical Heritage Press, Filadelfia 2004; versión original en alemán), p. 80. Este libro constituye una excelente referencia no sólo para la biografía de Haber, quien nos aparecerá —y de manera prominente— varias veces en este capítulo al igual que en otros. Sobre el problema de los abonos artificiales, su historia y el papel central de Haber y Carl Bosch, véase tambien, Vaclav Smil, *Enriching the Earth. Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production* (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 2001).

57. Wilhelm Ostwald, *Lebenslinien: Eine Selbsbiographie* (Klasing, Berlín 1926), vol. 2, cap. 12; citado en D. Stolzenberg, *Fritz Haber*, *op. cit.*, p. 81.

58. Haber había comenzado a interesarse en el problema al menos en 1902, cuando, durante una gira que realizó a Estados Unidos, visitó las factorías de Productos Atmosféricos de las cataratas del Niágara, en donde se oxidaba nitrógeno en hornos de arcos eléctricos. Durante varios años intentó utilizar la oxidación para sintetizar nitrógeno del aire.

59. Para hacerse una idea de lo que esta presión significaba, hay que tener en cuenta que cuando Haber realizó su primera demostración a la BASF, al mencionar que se necesitaría una presión de 100 atmósferas (la mitad de lo que lo finalmente se requirió), Bosch clamó que «con una presión de 7 atmósferas algunos de los aparatos que utilizaban estallaban».

60. Cuando se creó en 1925 I. G. Farben, tras la unión de las principales industrias alemanas de tintes, Bosch se incorporó a ella, encabezando su Junta de Directores hasta 1935.

61. El texto de la conferencia fue publicado: Fritz Haber, «Über die Nutzbarmachung des Stickstoffs», *Verhandlungen des Naturwissenschaflichen Vereins in Karlsruhe 23*, 20-23 (1909/1910); citado en D. Stolzenberg, *Fritz Haber*, *op. cit.*, p. 91.

62. J. A. Harker, «Discussion on the nitrogen industry», en *Report of the Ninetieth Meeting. British Association for the Advancement of Science. Hull, 1922* (John Murray, Londres 1923), pp. 415-420; p. 420.

63. Véase J. A. Johnson, *The Kaiser's Chemists*, *op. cit.*, cap. 4. En el resto de esta sección también he utilizado ocasionalmente datos incluidos en el capítulo 9 de esta obra.

64. En la sección *a* del artículo XXIII de la Convención de La Haya de 1899 se prohibía «la utilización de veneno o armas envenenadas». Además, en la «Declaración» firmada se señalaba que «los poderes contratantes están de acuerdo en abstenerse de utilizar proyectiles cuyo objeto sea la difusión de gases asfixiantes o nocivos». En la Segunda Conferencia Internacional de La Haya (1907) no variaron los términos. Véase, Stockholm International Peace Research Institute, *The Problem of Chemical and Biological Warfare*, vol. III (*CBW and the Law of War*) (Almqvist & Wiksell, Estocolmo 1973), pp. 152-153.

65. En Alemania, el cloro líquido comenzó a estar disponible en cantidades comerciales a finales de la década de 1880; en Gran Bretaña y Estados Unidos sólo lo estuvo a comienzos del nuevo siglo.

66. Más detalles sobre estas operaciones, al igual que en general sobre la guerra química se encuentran en el libro escrito por L. F. Haber, hijo de Fritz Haber y distinguido historiador de la química industrial afincado en Gran Bretaña, *The Poisonous Cloud. Chemical Warfare in the First World War* (Clarendon Press, Oxford 1986). Otra referencia útil que va más allá de la Gran Guerra es Valerie Adams, *Chemical warfare. Chemical disarmament* (Indiana University Press, Bloomington 1990). Una evaluación interesante, realizada justo después del final de la guerra, es la que Harold Hartley, director del Departamento Antigás (posteriormente llegó a ser *fellow* de la Royal Society), presentó al primer congreso de la British Association for the Advancement of Science celebrado después de la guerra: «Chemical warfare», en *Report of the Eighty-seventh Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Bournemouth*, *1919* (John Murray, Londres 1920), pp. 393-402.

67. Carl von Clausewitz, *De la guerra* (La Esfera de los Libros, Madrid 2005; edición original en alemán de 1832), pp. 164-165.

68. Juan Izquierdo Croselles y Agustín Ripoll, *Manual de guerra química*, segunda edición (Tipografía del Memorial de Artillería, Madrid 1938), p. IX. No he podido averiguar el año en que se publicó la primera edición de esta obra, pero ya en 1924 el Estado Mayor del ejército publicó un libro titulado *La Guerra Química (gases de combate)*.

69. Expresión introducida por J. B. S. Haldane en una obra, *Calínico*, a la que me refiero más adelante, en la que se ocupaba de todos aquellos que criticaban la introducción de una nueva arma.

70. Al final de la guerra Foulkes era brigadier-general. Es curioso constatar que Haber (que, por supuesto, desempeñó un papel diferente al de Foulkes, aunque en un punto sí se le parecía: estaba tan convencido como el británico de la utilidad de la guerra química) no pasó de capitán, y eso gracias al apoyo del propio káiser. La explicación de esta mínima promoción se encuentra en el origen judío de Haber y en el antisemitismo latente en las Fuerzas Armadas alemanas.

71. J. B. S. Haldane, *Calínico o una defensa de la guerra química* (Revista de Occidente, Madrid 1926; primera edición en inglés en 1925). Haldane fue un brillante experto británico en bioquímica y genética que participó en los esfuerzos de su país en la guerra química; véase Ronald W. Clark, *JBS. The Life and Work of JBS Haldane* (Coward-MeCann, Nueva York 1969). En *Calínico* criticaba el cinismo ético que rodeaba a la guerra química.

72. J. B. S. Haldane, *Calínico*, *op. cit.*, p. 22.

73. Si se pone una gota del líquido sobre un trozo de papel y se deja éste durante cinco minutos sobre la manga del traje de un hombre, el vapor atraviesa la ropa (incluyendo una camisa de lana), ocasionando una ampolla cuyos efectos duran unas seis semanas.

74. Véase L. F. Haber, *The Poisonous Cloud*, *op. cit.*, pp. 117-118.

75. *Ibid.*, p. 170.

76. Aunque los gases venenosos se habían estado utilizando en el frente europeo durante dos años, cuando, en 1917, Estados Unidos entró en la guerra, sus establecimientos químicos no tenían prácticamente ninguna experiencia en cómo abordar el problema. El National Research Council estableció un comité para los usos de los gases en la guerra, pero no parece que fuese muy activo. El único departamento con alguna experiencia era el Bureau of Mines, que hacía años que se ocupaba de los desastres en minas debidos a los gases. En febrero de 1917, este Bureau ofreció sus servicios al NRC y se embarcó en un proyecto de adaptar los aparatos de respiración usados en las minas para utilizar como máscaras de gas en el frente. Una consecuencia de este proyecto fue la creación de un laboratorio dedicado a este tema en la American University, en Washington D. C. Otros laboratorios de diversas universidades fueron uniéndose a estas investigaciones, en las que ya estaban interesados todos los cuerpos de las Fuerzas Armadas. En julio de 1918, esto es, muy poco antes de que terminase la guerra, se creaba el Chemical Warfare Service, al que pasó a depender el laboratorio de la American University.

77. L. F. Haber, *The Poisonous Cloud*, *op. cit.*, p. 107.

78. Paul Voivenel y Paul Martin, *La Guerre des gaz, 1915-1918* (Bernard Giovanangeli Éditeur, París 2004), p. 222.

79. Richard Willstätter, *From My Life* (W. A. Benjamin, Nueva York 1965), p. 252.

80. El Anti-Gas Department británico, por poner un ejemplo, produjo 55 millones de máscaras.

81. Véase tabla 10.1 (p. 243) de L. F. Haber, *The Poisonous Cloud*, *op. cit.*

82. «Chemical warfare», *op. cit.*, p. 398.

83. Este cuadro, titulado «Gassed», fue pintado en 1918. En la actualidad se encuentra en el Imperial War Museum de Londres.

84. El Tratado de Paz de Versalles también se ocupó de la guerra química. El artículo 171 señalaba lo siguiente:

«Estando prohibida la utilización de gases asfixiantes o venenosos, así como los de otro tipo, y de todos los líquidos análogos, su producción e importación está estrictamente prohibida para Alemania.

Lo mismo se aplica para los materiales especialmente diseñados para la producción, almacenamiento y utilización de tales productos o instrumentos».

85. En buena parte de esta sección sigo a María Rosa de Madariaga y Carlos Lázaro Ávila, «Guerra química en el Rif (1921-1927)», *Historia*, n.° 324 (abril de 2003), pp. 50-85.

86. *Ibid.*, p. 63.

87. Algunas fuentes señalan que la aviación fue utilizada militarmente por primera vez en misiones de observación y bombardeo en 1911, por Italia contra Turquía, en Libia. Parece, no obstante, que sólo se empleó para misiones de observación, mientras que los españoles lanzaron bombas desde los aviones. Véase, por ejemplo, Hugh Thomas, *Una historia del mundo* (Grijalbo, Barcelona 1981). He descrito algunas de las aportaciones de los pioneros que he citado en José Manuel Sánchez Ron, *INTA. 50 años de ciencia y técnica aeroespacial* (Ministerio de Defensa/INTA/Doce Calles, Madrid 1997), capítulo 1.

88. Ramón J. Sender, *Imán*, edición de Nil Santiáñez (Crítica, Barcelona 2006), pp. 133-134. El editor de esta edición, Nil Santiáñez, señala que no fue el 5 de julio cuando se lanzaron por primera vez gases asfixiantes en Marruecos, sino el día 15.

1. Véase, acerca de este tipo de promoción del internacionalismo, Elisabeth Crawford, «The universe of international science, 1880-1939», en *Solomon's House Revisited. The Organization and Institutionalization of Science*, Tore Frängsmyr, ed. (Science History Publications, Canton 1990), pp. 251-269.

2. Recordemos la cita de las memorias de Siemens utilizada en el capítulo 2.

3. Véase Silvanus P. Thompson, *The Life of William Thomson*, *Baron Kelvin of Largs* (Macmillan, Londres 1910), vol. II, p. 775.

4. Sobre esta organización, véase *Office des Institutions Internationales. Annuaire de la vie internationale 1908-1909* (Office Central des Institutions Internationales, Bruselas 1909), pp. 537-538. Esta publicación contiene bastante información acerca de las organizaciones internacionales existentes en 1908-1909.

5. Sobre este congreso, véase *The Question of the Atom. From the Karlsruhe Congress to the First Solvay Conference*, Mary Jo Nye, ed. (Tomash Publishers, Los Ángeles 1984); especialmente la sección «Account of the sessions of the International Congress of Chemists in Karlsruhe, on 3, 4, and 5 september 1860», pp. 5-28.

6. Sobre la Asociación Internacional de Academias, véanse Brigitte Schroeder-Gudehus, *Les scientifiques et la paix* (Les Presses de l'Université de Montréal, Montreal 1978) y Frank Greenaway, *Science International. A History of the International Council of Scientific Unions* (Cambridge University Press, Cambridge 1996), cap. 1.

7. Acerca de la Institución Nobel, véanse Elisabeth Crawford, *The Beginnings of the Nobel Institution. The Science Prizes*, *1901-1915* (Cambridge University Press, Cambridge 1984) y Ulf Larsson, ed., *Cultures of Creativity. The Centennial Exhibition of the Nobel Prize* (Science History Publications, Canton, Massachusetts 2002). También, Elisabeth Crawford, John L. Heilbron y Rebecca Ullrich, *The Nobel Population*, *1901-1937. A Census of the Nominators and Nominees for the Prizes in Physics and Chemistry* (Office for History and Technology, University of California/Office for History of Science, Uppsala 1987).

8. *Code of Statutes of the Nobel Foundation given at the Palace in Stockholm on the 29th day of June in the year 1900*, sección I («Objects of the Foundation»). En realidad el que Nobel se implicase en el movimiento pacifista tuvo un elemento personal. En 1876, empleó como su secretaria a la austríaca Bertha von Kinsky, que trabajó con él durante poco tiempo en París antes de regresar a Austria, donde se casó, tomando el nombre de casada por el que es más conocida: Bertha von Suttner. Con él se convirtió en una figura internacional del movimiento pacifista gracias a su libro *Die Waffen nieder* (*¡Abajo las armas!*). Fue la actitud y ejemplo de Bertha von Suttner lo que animó a Nobel a establecer el premio Nobel de la Paz, que, por cierto, ella recibió en 1905.

9. La mejor historia de la creación de los Institutos y Consejos Solvay se encuentra desgraciadamente inédita: Jean Pelseneer, *Historique des Instituts internationaux de Physique et de Chimie Solvay depuis leur fondation jusqu'à la deuxième guerre mondiale* (manuscrito no publicado; copia depositada en los «Archives for the History of Quantum Physics», microfilme n.° 58). El lector interesado puede consultar también Jagdish Mehra, *The Solvay Conferences of Physics. Aspects of the Development of Physics since 1991* (Reidel, Dordrecht 1975) y Pierre Marage y Grégoire Wallenborn, eds., *The Solvay Councils and the Birth of Modern Physics* (Birkhäuser, Basilea 1999).

10. Las actas del congreso fueron publicadas como: *La théorie du rayonnement et les quanta*, Pierre Langevin y Maurice de Broglie, eds. (Gauthier-Villars, París 1912).

11. Los Congresos Internacionales de Matemáticos se celebraron desde el principio cada cuatro años. Tras Zúrich vinieron: París (1900), Heidelberg (1904), Roma (1908) y Cambridge (1912), momento en que se detuvieron temporalmente debido a la guerra mundial. Se reanudaron en 1920 en Estrasburgo, ciudad que había vuelto a pasar a manos francesas como resultado de las condiciones de la victoria aliada (en 1871 había sido cedida a los alemanes, debido a las condiciones de otra guerra, la franco-prusiana). En aquella reunión, siguiendo, como indico más adelante, el espíritu del momento, se excluyó a los matemáticos de las Potencias Centrales (a los de los países neutrales sólo se les admitió después de que fuesen aceptados por el voto de dos tercios de los miembros del comité ejecutivo). En Toronto (1924), continuaron excluidos, mientras que en Bolonia (1928) se les invitó y aunque algunos rechazaron ir, asistió una delegación de más de sesenta matemáticos germanos encabezada por David Hilbert. En aquella ocasión, Hilbert propuso otro de sus famosos problemas (recordemos que en el Congreso de París de 1900 había presentado su célebre lista de 23 problemas matemáticos sin resolver), el llamado *Entscheidungsproblem*, o «problema de la decisión»: demostrar si existe un algoritmo para decidir si una proposición matemática es consecuencia lógica de otras; esto es, si es cierta o falsa. En 1932 se celebró de nuevo en Zúrich y en 1936 en Oslo. Debido a la nueva guerra mundial se detuvieron entonces, reanudándose en 1950 (Cambridge, Massachusetts), continuando ya regularmente (el último tuvo lugar en agosto de 2006 en Madrid). Véase, Donald J. Albers, G. L. Alexanderson y Constance Reid, *International Mathematical Congresses. An Illustrated History*, *1893-1986*, edición revisada (Springer-Verlag, Nueva York 1987).

12. H. A. Lorentz a E. Solvay, 4 de enero de 1912; citado en J. Pelseneer, *Historique des Instituts Internationaux de Physique et de Chimie Solvay*, *op. cit.*

13. La idea de vincular el Instituto de Química de Solvay con la Asociación Internacional de Sociedades Químicas había surgido de Ostwald; Ramsey era el presidente de la Asociación, y el comité inglés era quien constituía entonces el comité central.

14. Sobre los tres primeros Consejos Solvay de Química, véase Mary Jo Nye, «Chemical explanation and physical dynamics: Two research schools at the first Solvay Chemistry Conferences, 1922-1928», *Annals of Science 46*, 461-480 (1989).

15. Max Born, *My Life. Recollections of a Nobel Laureate* (Charles Scribner's, Nueva York 1978), pp. 160-162.

16. Citado en Stefan L. Wolf, «Physicists in the “Krieg der Geister”: Wilhelm Wien’s “Proclamation”», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 33*, 337-368 (2003), pp. 337-338.

17. Publicado en Hermann Kellermann, *Der Krieg der Geister, 1914* (Vereinigung Heimat und Welt, Dresde 1915), pp. 64-68.

18. Constance Reid, *Hilbert* (Springer-Verlag, Berlín 1970), pp. 137-138.

19. La postura, entre pacifista y simplemente independiente, de Russell durante la Primera Guerra Mundial produjo al menos tres incidentes. En el primero se le juzgó por haberse hecho responsable de la escritura de un panfleto distribuido en abril de 1916 en favor de la *No Conscription Fellowship* (*No al servicio militar obligatorio*), en el que se criticaba la sentencia a dos años de trabajos forzados por desobedecer órdenes militares a un objetor de conciencia. Fue encontrado culpable y condenado a una multa de 100 libras. Como consecuencia de esta condena, el Consejo del Trinity College de Cambridge quitó a Russell la *lectureship* (equivalente a un puesto de profesor titular) que mantenía en el college. Finalmente, el 11 de febrero de 1918, Russell fue juzgado «por haber realizado ciertas manifestaciones en una publicación, que pueden perjudicar a las relaciones de Su Majestad con los Estados Unidos de América» (se trataba de un artículo, titulado «La oferta de paz alemana», en el que Russell se refería al ejército americano que se encontraba en Europa en términos despectivos; en concreto, como acostumbrado a intimidar huelguistas en su patria). Fue condenado a seis meses de cárcel, que cumplió en la prisión de Brixton. Véase G. H. Hardy, *Bertrand Russell & Trinity. A College Controversy of the Last War* (impreso privadamente para el autor por Cambridge University Press, Cambridge 1942).

20. Los sentimientos de Einstein al estallar la guerra se pueden apreciar por los siguientes fragmentos de dos cartas que escribió a Paul Ehrenfest, que ocupaba la cátedra de Física de la Universidad de Leiden que antes había sido de Lorentz: «Europa, en su locura, ha comenzado algo increíble. En tales momentos, uno se da cuenta a qué triste especie de animal pertenece» (19 de agosto de 1914); «La catástrofe internacional ha impuesto en mí, como internacionalista, una pesada carga. Al atravesar esta "gran época", se le hace a uno difícil reconciliarse con el hecho de que se pertenece a una especie idiota y corrompida que se jacta de su libre albedrío. ¡Cuánto desearía que existiese en alguna parte una isla para aquellos que son sabios y bondadosos! En semejante lugar incluso yo sería un ardiente patriota» (primeros de diciembre de 1914). Reproducidas en *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 8, parte A (*The Berlin Years: Correspondence*, *1914-1917*), Robert Schulmann, A. J. Kox, Michel Janssen y József Illy, eds. (Princeton University Press, Princeton 1998), pp. 56, 62-63, y citadas también en *Einstein on Peace*, Otro Nathan y Heinz Norden, eds. (Schocken Books, Nueva York 1968), p. 12.

21. Este manifiesto se incluye en *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 6 (*The Berlin Years*, *1914-1917*), A. J. Kox, Martin J. Klein y Robert Schulmann, eds. (Princeton University Press, Princeton 1996), pp. 69-70. También en Nicolai, *Die Biologie des Krieges* (Orell Füssli, Zúrich 1916). Existe una traducción al castellano de esta obra, *Biología de la guerra* (Ediciones Ercilla, Santiago de Chile 1937), en la que el manifiesto aparece en las pp. 38-40; sin embargo, la calidad de la traducción es pésima, por lo que he traducido de nuevo el documento. El libro llevaba un prólogo de Romain Rolland (que la versión al castellano conservó).

22. G. F. Nicolai, *Biología de la guerra*, *op. cit.*, p. 40.

23. Un buen ejemplo en este sentido es el libro de René Lote, *Les origines mystiques de la Science «allemande»* (Librairie Félix Alcan, París 1913), en el que se muestra a Alemania como una potencia mística de opresión, deseosa de dominar el mundo.

24. Librairie Félix Alcan, París.

25. El principal —y casi único— disidente, con relación al tono general de las intervenciones, fue un profesor de la Facultad de Medicina de Montpellier, Grasset, que se limitó a participar en el libro con una carta en la que se negaba a aceptar la idea de una ciencia alemana y una ciencia francesa. «¿Qué se puede reprochar a los sabios alemanes?», escribía, «No sus doctrinas científicas, no sus opiniones políticas, no su amor por su país, no los errores de su patriotismo ciego... Sólo tenemos que reprocharles una cosa, haber mezclado puntos de vista disparatados y haber expresado sus opiniones de ciudadanos alemanes amparándose en su autoridad de sabios.»

26. El mismo año, Picard publicó, en forma de libro y con el mismo título, una versión algo ampliada de su contribución al libro de Petit y Leudet: *L'histoire des sciences et les prétentions de la science allemande* (Perrin et Cie, París 1916).

27. Una historia detallada de los sucesos que esbozo a continuación se encuentra en B. Schroeder-Gudehus, *Les scientifiques et la paix*, *op. cit.*

28. Como la de Paul Langevin, que según vimos se había ocupado durante la guerra de la detección de submarinos. En 1920, Langevin se hizo cargo de la dirección científica del *Journal de Physique* y desde este puesto se esforzó por abrir las páginas de la revista a los científicos extranjeros, incluyendo a los alemanes. Asimismo, ayudó a Lorentz en sus esfuerzos para que los físicos germanos fuesen admitidos en los Consejos Solvay, para cuyo Comité Científico había sido elegido en 1921. En 1922, Langevin dio un golpe de efecto al invitar a Einstein a dictar una serie de conferencias en París. Bernadette Bensaude-Vincent, *Langevin. Science et vigilance* (Belio, París 1987).

29. John M. Keynes, *The Economic Consequences of the Peace* (1919). Yo he utilizado la edición publicada en 1984 por Macmillan y Cambridge University Press, vol. II de *The Collected Writings of John Maynard Keynes*; cita en p. 20.

30. Citada en B. Schroeder-Gudehus, *Les scientifiques et la paix*, *op. cit.*, pp. 115-116.

31. Para más información sobre el CII y sus primeras asambleas generales, véase F. Greenaway, *Science International. A History of the International Council of Scientific Unions*, *op. cit.*, especialmente pp. 21-32.

32. Este punto ha sido desarrollado por Elisabeth Crawford, «Internationalism in science as a casualty of the First World War: relations between German and Allied scientists as reflected in nominations for the Nobel prizes in physics and chemistry», *Social Science Information 27*, 163-201 (1988). Véase también, E. Crawford, J. L. Heilbron y R. Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, *op. cit.*

33. Entre 1901 y 1933 los porcentajes de nominaciones para científicos del propio país (siempre en física y química) fueron los siguientes: Alemania, 68,96 por 100 (un total de 591 propuestas); Estados Unidos, 65,09 por 100 (151); Francia, 75,56 por 100 (306); Gran Bretaña, 63,19 por 100 (91). Véasae tabla 2 de E. Crawford, «Internationalism in science as a casualty», *op. cit.*

34. E. Crawford, J. L. Heilbron y R. Ullrich, *The Nobel Population, 1901-1937*, *op. cit.*, p. 210.

35. En la nota 11 mencioné lo que sucedió en los Congresos Internacionales de Matemáticos de Estrasburgo (1920) y de Toronto (1924), en los que fueron excluidos los matemáticos de las Potencias Centrales.

36. J. Pelseneer, *Historique des Instituts internationaux de Physique et Chimie Solvay*, *op. cit.*, capítulo IV, «Le manifeste des 93. La reprise des relations avec les savants allemands et autrichiens». Los documentos citados en el resto de esta sección también proceden de esta obra inédita.

37. Citado en J. Pelseneer, *Historique des Instituts*, *op. cit*.

38. *Electrons et photons. Rapports et discussions du 5.e Conseil de Physique Solvay* (Gauthier-Villars, París 1928).

39. Citado en Paul Forman, «Scientific internationalism and the Weimar physicists: The ideology and its manipulation in Germany after World War I», *Isis 64*, 151-181 (1973); p. 163.

40. F. Haber a H. R. Kruyt, 7 de julio de 1926; citado en P. Forman, «Scientific internationalism and the Weimar physicists», *op. cit.*, p. 163.

41. Ch. St. John a H. A. Lorentz, 14 de junio de 1922; citado en P. Forman, «Scientific internationalism and the Weimar physicists», *op. cit.*

42. A. Sommerfeld a A. Einstein, 24 de septiembre de 1922; citada en Karl von Meyenn, «Del conocimiento científico al poder de la ciencia», en *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después*, J. M. Sánchez Ron, coord. (CSIC, Madrid 1988), vol. I, pp. 63-126; p. 108.

43. Arnold Sommerfeld, «Ein Besuch in Gent», *Süddeutsche Monarschefte 15*, 4446 (1918).

44. John L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man. Max Planck as Spokesman for German Science* (University of California Press, Berkeley 1986) pp. 102-103; B. Schroeder-Gudehus, *Les scientifiques et la paix*, *op. cit.*, pp. 149 y ss.

45. Además de no asistir a la primera reunión, alegando que «tenía que completar un importante trabajo científico», Einstein escribió una carta en la que indicaba que «en vista de que se aproximaba su partida hacia Japón, no podría tomar parte en el trabajo del Comité, pero que dentro de seis meses esperaba poder hacerlo». He utilizado las actas publicadas de la reunión: «League of Nations. Committee on Intellectual Co-operation. Minutes of the First Session. First Meeting, held on Tuesday, August 1st, 1922, at 10 a.m.». La primera reunión a la que asistió Einstein fue la del 25 de julio de 1924. Al darle la bienvenida, y después de repasar sucintamente sus principales aportaciones científicas, Bergson, *chairman*, señaló: «Aun durante la guerra, e incluso antes de ella, su concepción de las relaciones entre personas no debía de estar muy alejada del ideal de la Liga de las Naciones. Si con su presencia en un Comité de la Liga de las Naciones logra atraer a este ideal a todos aquellos que han estado interesados en sus nobles especulaciones, prestará un nuevo y muy gran servicio a la humanidad». He utilizado las actas publicadas de la reunión: «League of Nations. Committee on Intelectual Co-operation. Minutes of the Fourth Session. First Meeting, held on Friday, 25th, 1924, at 10 a.m.».

46. Fue Torres Quevedo quien propuso, en la segunda sesión de la primera reunión, la cuestión de un lenguaje internacional, «para poder consultar con el vicepresidente de la Asociación Internacional de Esperanto». «League of Nations. Committee on Intelectual Co-operation. Minutes of the First Session. Second Meeting, held on Tuesday, August 1st, 1922, at 5 p.m.»

47. Citado en *Einstein on Peace*, O. Nathan y H. Norden, eds., *op. cit.*, pp. 58-59.

48. Winston S. Churchill, *La Segunda Guerra Mundial*, vol. 1 (La Esfera, Madrid 2001; primera edición en inglés de 1959), p. 37.

49. William Carr, *A History of Germany, 1815-1945* (St. Martin's Press, Nueva York 1979), p. 283.

50. La inflación durante la República de Weimar ha sido estudiada, entre otros, por Adam Fergusson, *Cuando muere el dinero. El derrumbamiento de la República de Weimar* (Alianza, Madrid 1984). Véase, asimismo, Charles P. Kindleberger, *Historia financiera de Europa* (Crítica, Barcelona 1988), capítulo 17 («La inflación alemana de la posguerra»); también el capítulo 16 («La financiación de la contienda, las compensaciones y las deudas de guerra»).

51. Aunque padecieran una inflación menor, los científicos austríacos sufrieron enormemente, en parte por motivos relacionados con el menor poder de su industria. Se trataba incluso, en el invierno de 1919-1920, de tener lo necesario para poder comer. En su desesperación, Stefan Meyer, director del Instituto del Radio de Viena, no dudaba en culpar al Tratado de Versalles cuando escribía, en enero de 1920, a Ernest Rutherford: «La llamada paz ha agravado enormemente las dificultades y me temo que no seremos capaces de continuar investigando, si es que podemos seguir con vida. Nadie que no viva aquí —sólo con dinero austríaco en sus manos— puede imaginar los sufrimientos que estamos condenados a padecer por una paz dictada desde el odio nebuloso... Por supuesto, existen aquí, al igual que en todas partes, personas que se benefician con la guerra y con la paz, pero aquel que depende de un salario fijo y reducido es un pobre»; citado en A. S. Eve, *Rutherford. Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford*, *O. M* (Mac Millan, Nueva York 1939), pp. 277-278.

52. C. P. Kindleberger, *Historia financiera de Europa*, *op. cit.*, pp. 421-422. Otro estudio interesante es el clásico de David S. Landes, *The Unbound Prometheus* (Cambridge University Press, Cambridge 1969), capítulo 6 («The interwar years»).

53. *Report of the Eighty-seventh meeting of the British Association for the Advancement of Science. Bournemouth: 1919* (John Murray, Londres 1920), pp. 232-245.

54. R. Willstätter, *From My Life* (W. A. Benjamin, Nueva York 1965), pp. 328-329.

55. Fritz K. Ringer, *The Decline of the German Mandarins. The German Academic Community, 1890-1933* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1969), especialmente el capítulo 4 («The political conflict at its height, 1918-1933»); Paul Forman, *The Environment and Practice of Atomic Physics in Weimar Germany: A Study in the History of Science*, tesis doctoral (University of California, Berkeley 1967), sección I.2.b («Political attitudes in the universities»).

56. A. Sommerfeld a A. Einstein, 3 de diciembre de 1918, en *Einstein/Sommerfel Briefwechsel* (Schwabe & Co. Verlag, Basilea 1968), pp. 52-54.

57. P. Forman, *The Environment and Practice of Atomic Physics*, *op. cit.*, pp. 46-50.

58. R. Willstätter, *From My Life*, *op. cit.*, p. 315.

59. P. Forman, *The Environment and Practice of Atomic Physics*, *op. cit.*, p. 50. También, J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man*, *op. cit.*, p. 153.

60. Los argumentos que siguen están tomados de P. Forman, *The Environment and Practice of Atomic Physics in Weimar Germany*, *op. cit.*, pp. 209-212.

61. Esta sección se basa especialmente en trabajos de Paul Forman, cuyas investigaciones, como ya se ha podido apreciar, han iluminado notablemente nuestra comprensión de la relación entre sociedad y ciencias físicas durante la República de Weimar. P. Forman, «The financial support and political alignment of physicists in Weimar Germany», *Minerva 12*, 39-66 (1974); «Industrial support and political alignments of the German physicists in the Weimar Republic», en *Industrielles System und politische Entwicklung in der Weimarer Republik*, H. Mommsen, D. Petzina y B. Wiesbrod, eds. (Droste Verlag, Düsseldorf 1974), pp. 716-731; *The Helmholtz-Gesellschaft: Support in Academic Physical Research by German Industry after the First World War* (inédito); *The Environment and Practice of Atomic Physics in Weimar Germany*, *op. cit.*

62. Felix Klein fue un gran matemático (entre sus aportaciones se encuentran el «Programa de Erlangen», 1872, en el que defendía la importancia de entender la geometría como el estudio de los invariantes de un cierto grupo de transformación, o notables contribuciones al estudio de las funciones automorfas). Sin embargo, su capacidad creativa del más alto nivel terminó relativamente pronto (especialmente tras verse sometido a una intensa competición con Henri Poincaré sobre las funciones automorfas), dedicando a partir de entonces una parte de sus energías a tareas organizativas, que involucraban no sólo a la matemática sino también a la física y diversas disciplinas técnicas; pensaba que la matemática, su disciplina, se beneficiaría de semejante relación, al igual, naturalmente, que la física o las especialidades técnicas.

63. Gracias a la aportación de la General Electric se creó la Comisión de Electrofísica dentro de la Notgemeinschaft, de la que formaban parte Planck, Haber, von Laue, Nernst y Franck. En un informe preparado por la Comisión (probablemente por Planck) se lee lo siguiente: «Numerosos trabajos han conducido a resultados que son de gran, y en parte fundamental, importancia para el desarrollo de la física... Precisamente los trabajos de Heisenberg y Born, que han sido fomentados por la Comisión de Electrofísica y que sin esta ayuda probablemente no hubiesen sido realizados en Alemania sino en otra parte, muestran la utilidad que la Comisión ha tenido para el desarrollo de la física». Con la aportación japonesa se formó una Comisión de Química en 1922 (F. Han y O. Hahn, «Richtlinien für die Tätigkeit des Japanausschusses der Notgemeinschatt der Deutschen Wissenschaft», *Naturwissenschaften 11*, 31-32, 210-211 [1923]).

64. Véase P. Forman, «The financial support...», *op. cit.*, especialmente tabla I.

65. Forman, *ibid.*, p. 41, nota 5, e «Industrial support and political alignments...», *op. cit.*, p. 718.

66. *El Aufruf zum beitritt in die Helmholtz-Gesellschaft zur Förderung der Physikalisch Technischen Forschung* (enero de 1921) de Wien se reproduce en P. Forman, *The Helmholtz-Gesellschaft*, *op. cit.*, pp. 268-270.

67. Forman, *The Helmholtz-Gesellschaft*, *op. cit.*, p. 88. La HG llegó a un cierto acuerdo con la Stifterverband mencionada con anterioridad, que rebajó en algo su capital al principio, aunque luego lo aumentó. El acuerdo se canceló en marzo de 1924.

68. Los datos que he utilizado proceden de Reinhard Siegmund-Schultze, *Rockefeller and the Internationalization of Mathematics Between the Two World Wars* (Birkhäuser, Basilea 2001), p. 100. Con respecto a los datos de países visitados, hay que tener en cuenta que muchos becarios viajaban a más de uno.

69. Este texto fue traducido al español por el físico Ramón Ortiz Fornaguera (1916-1974): *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica* (Instituto de Matemáticas «Jorge Juan», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1949). Fue la primera traducción a otro idioma (la traducción al inglés apareció en 1955).

70. *Ibid.*, p. 14.

71. Como indico en el capítulo siguiente, la llegada del nazismo hizo que las ayudas de la Fundación Rockefeller terminasen disminuyendo con rapidez.

72. Paul Forman, «Weimar culture, causality and quantum theory, 1918-1927. Adaptation by German physicists and mathematicians to a hostile intellectual environment», *Historical Studies in the Physical Sciences 3*, 1-115 (1971). Existe traducción al castellano: *Cultura en Weimar*, *causalidad y teoría cuántica*, *1918-1927* (Alianza, Madrid 1984). Comentarios sobre este trabajo de Forman se encuentran en: J. Hendry, «Weimar culture and quantum causality», *History of Science 18*, 155-180 (1980); Hans Radder, «Kramers and the Forman theses», *History of Science 21*, 165-182 (1983); P. Kraft y P. Kroes, «Adaptation of scientific knowledge to an intellectual environment. Paul Forman's Weimar culture, causality, and quantum theory, 1918-1927: Analysis and criticism», *Centaurus 27*, 76-99 (1984); José M. Sánchez Ron, «Introducción» a P. Forman, *Cultura en Weimar*, *op. cit.*, pp. 9-34. El propio Forman ha considerado la posible extensión de sus tesis a otros países en «The reception of an acausal quantum mechanics in Germany and Britain», en *The reception of unconventional science*, Seymour H. Mauskopf, ed. (Westview Press, Boulder 1978), pp. 11-50.

73. Oswald Spengler, *Der Untergang des Abendlandes. Umrisse einer Morphologie der Weltgeschichte* (Múnich 1918). En cinco años el libro de Spengler tuvo treinta reimpresiones, y en 1926 la segunda edición, publicada en 1923, había visto otras treinta reimpresiones más (en total 100.000 ejemplares en un país con un número de graduados superiores escasamente el triple de esta cifra).

74. Erwin Schrödinger, *Über Indeterminismus in der Physik. Ist die Naturwissenschft milieubedingt? Zwei Vorträge zur Kritik der naturwissenschaftlichen Erkenntnis* (Barth, Leipzig 1932), pp. 38-39.

75. Richard von Mises, «Über die gegenwärtige Krise der Mechanik», *Zeitchrift für angewandte Mathematik und Mechanik 1*, 425-431 (1921); reimpreso en *Naturwissenschaften 10*, 25-29 (1922).

76. Walther Nernst, *Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze* (Berlín 1921), reimpreso en *Naturwissenschaften 10*, 489-495 (1922).

1. Este documento se reproduce completo (en versión inglesa) en Klaus Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources* (Birkhäuser, Basilea 1996), pp. 21-24.

2. Victor Klemperer, *I Will Bear Witness. A Diary of the Nazi Years, 1933-1941* (Ramdom House, Nueva York 1998; edición original en alemán de 1995), p. 12.

3. Franck también había sido miembro desde 1918 del Patronato de la Asociación Káiser Guillermo.

4. «Freiwilliger Amtsverzicht Prof. James Franks», *Göttinger Zeitung* (18 de abril de 1933), primer suplemento. Reproducido (traducido al inglés) en K. Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources*, *op. cit.*, pp. 27-30; p. 29.

5. Citada en Richard Willstätter, *From My Life* (W. A. Benjamin, Nueva York 1965), p. 289, y en K. Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources*, *op. cit.*, pp. 44-45.

6. *Ibid.*, pp. 289-290.

7. Tras abandonar sus puestos en Alemania, Fritz Haber se trasladó a Inglaterra, invitado por la Universidad de Cambridge. Aparentemente, ni el ambiente ni el clima ayudaron a levantar su estado anímico y energías (L. F. Haber, *The Poisonous Cloud* [Clarendon Press, Oxford 1986], p. 312). Falleció el 30 de enero de 1934 cuando se dirigía a Basilea a pasar unas vacaciones.

8. El número de personas a las que afectaban estas leyes era de unas 875.000, de las cuales 525.000 practicaban la religión judía.

9. Ya cité este pasaje en el capítulo 7.

10. Armand Borel, «The school of Mathematics at the Institute for Advanced Study», en *A Century of Mathematics in America*, parte III, P. Duren, ed. (American Mathematical Society, Providence 1989), pp. 119-147.

11. Hans Krebs (en colaboración con Anne Martin), *Reminiscences and Reflections* (Clarendon Press, Oxford 1981), p. 60.

12. *Ibid.*, pp. 68-70. Este manifiesto fue publicado en *Freiburger Studentenzeitung* el 2 de mayo de 1933.

13. Aprobada en plebiscito el 10 de abril por el 99,73 por 100 de los votantes austríacos.

14. Sobre el efecto de las leyes raciales en la matemática italiana, y sobre esas propias leyes, véase Angelo Guerragio y Pietro Nastasi, *Italian Mathematics Between the Two World Wars* (Birkhäuser, Basilea 2005).

15. Otros, entonces no tan famosos, también abandonaron Italia. Por ejemplo, Salvador Luria (que en 1969 ganaría el premio Nobel de Medicina o Fisiología por sus trabajos sobre los mecanismos de los virus bacteriófagos y las afecciones virales). En su autobiografía, Luria (1912-1991) escribió: «En 1938 me vi desgarrado entre la llamada del deber hacia mis padres, lo que significaba quedarme con ellos y volver a la medicina, y la llamada de la libertad, que me impelía hacia donde yo pudiese ser un hombre de ciencia. Esta última ganó, debo decir que con plena aprobación de mis padres, quienes sintieron que una vez en el extranjero yo mismo estaría más seguro y podría brindarles ayuda. Las noticias de Alemania —como ejemplo notorio la *Kristallnacht*, más avanzado aquel año— me hicieron ver claramente lo improbable de que las persecuciones de los judíos se limitaran, ni aun en Italia, a una humillación no violenta» (S. Luria, *Autobiografía de un hombre de ciencia* [Fondo de Cultura Económica, México 1986], p. 48).

16. Véase Giovanni Batimelli, *L'eredità di Fermi* (Editori Riuniti, Roma 2003), p. 55.

17. *Biographisches Handbuch der deutschsprachigen Emigration nach 1933*, vol. I («Politik, Wirtschaft, Öffentliches Leben»), Werner Roder y Herbert A. Strauss, eds. (K. G. Saur, Múnich 1980); *International Biographical Dictionary of Central European Émigrés, 1933-1945*, vol. II, en dos tomos («The arts, sciences, and literature»), Herbert A. Strauss y Werner Roder, eds. (K. G. Saur, Múnich 1983).

18. El resto eran personas que tuvieron que abandonar esos países por motivos políticos, o por ser de otras nacionalidades. Herbert A. Strauss, «Jews in German history: Persecution, emigration, acculturation», en *International Biographical Dictionary of Central European Émigrés, 1933-1945*, vol. II/Part 1, pp. XI-XXVI; p. XI.

19. H. A. Strauss, «Jews in German history», *op. cit*. Naturalmente las cifras deben tomarse como aproximadas; el autor de las tablas estima que el error es del 10 por 100.

20. Sólo en unos pocos y extraordinarios casos, científicos distinguidos que fueron expulsados de sus puestos universitarios por ser judíos pudieron —y quisieron— continuar en Alemania trabajando en ciencia. El caso más notorio es el de Gustav Hertz, que había compartido el premio Nobel de Física de 1925 con James Franck. Al principio, Hertz pudo retener su puesto en el Technische Hochschule de Berlín por haber servido a Alemania durante la guerra; se le negó, sin embargo, el derecho a examinar. Dimitió en protesta, pero fue capaz de encontrar un empleo como director de investigación de Siemens en Berlín, en donde permaneció siendo apenas molestado hasta 1945, cuando, como señalaré en el capítulo próximo, se entregó a los soviéticos.

21. Un caso curioso en estos «destinos temporales» es el de Erwin Schrödinger. A raíz de formular la mecánica cuántica ondulatoria en 1926, el prestigio de Schrödinger creció enormemente, siendo elegido en 1927 para suceder a Planck al retirarse éste de su cátedra de Berlín. A pesar de no ser judío, Schrödinger abandonó su puesto en 1933 por no estar de acuerdo con la política y comportamientos nazis, trasladándose a Oxford. En 1936, sin embargo, Schrödinger, que era austríaco, aceptó una cátedra en Graz. Después del *Anschluss* de marzo de 1938 tuvo que regresar de nuevo a Inglaterra, para pasar más tarde a Dublín, en cuyo Institute for Advanced Studies, creado en julio de 1939 gracias a los esfuerzos del político Eamon de Valera, permaneció hasta 1956, cuando aceptó una cátedra en Viena. Walter Moore, *Schrödinger. Life and Thought* (Cambridge University Press, Cambridge 1989).

22. La mayor parte de los datos que estoy utilizando ahora procede de Herbert A. Strauss, «Some demographic and occupational characteristics of émigrés included in vol. II of the *Dictionary*», en *International Biographical Dictionary of Central European Émigrés, 1933-1945*, vol. II, pp. LXXVIII-LXXXVI, y de Horst Möller, «Wissenschaft in der Emigration-Quantitative und geographische Aspekte», *BerWissenschaftsgesch 7*, 1-9 (1984).

23. Hay que tener en cuenta además que después de la Primera Guerra Mundial se habían intensificado las relaciones entre Alemania y la Unión Soviética, debido al boicot a que estuvo sometida Alemania, que hasta 1926 no fue admitida en la Sociedad de las Naciones. En 1923, un grupo que incluía a Albert Einstein, Max Planck y Adolf von Harnack, presidente de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft, formó un comité específicamente para promover contactos entre estudiosos alemanes y soviéticos. Pamela S. Richards, «The movement of scientific knowledge from and to Germany under National Socialism», *Minerva 28*, 401-425 (1990).

24. Robin E. Rider, «“Alarm and opportunity”: Emigration of mathematicians and physicists to Britain and the United States, 1933-1945», *Historical Studies in the Physical Sciences 15* (1), 107-176 (1984), p. 117; Paul K. Hoch, «The reception of Central European refugee physicists of the 1930s: U.S.S.R., U.K., U.S.A.», *Annals of Science 40*, 217-246 (1983).

25. Herbert A. Strauss, «The movement of people in a time of crisis», en *The Masses Flee Hitler. Cultural Transfer and Adaptation, 1930-1945*, J. C. Jackman y C. M. Borden, eds. (Smithsonian Institution Press, Washington D. C. 1983), pp. 45-59; p. 51.

26. Citada en Roger H. Stuewer, «Nuclear physicists in a new world. The émigrés of the 1930s in America», *BerWissenschaftsgesch 7*, 23-40 (1984); p. 36.

27. Reproducida (en inglés) en K. Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources*, *op. cit.*, pp. 332-334.

28. Meitner se refiere aquí al biólogo Fritz von Wettstein Ritter von Westersheim (1895-1945), que fue ayudante en el Instituto de Biología de la Asociación Káiser Guillermo entre 1919 y 1925.

29. Philipp Heinrich Hörlein (1882-1954), un químico especializado en química aplicada a la medicina y productos farmacéuticos.

30. Meitner probablemente se refiere a ella misma.

31. El total de personas asesinadas («exterminadas» según la, mala, terminología habitual) en los campos de concentración alemanes, incluyendo por supuesto el terrible Auschwitz, fue de unos tres millones.

32. Con «solamente seamos nosotros», Meitner parece querer decir, «nosotros los judíos».

33. Michael Frayn, *Copenhagen* (Methuen Drama, Londres 1998).

34. Antes, en marzo de 1941, Carl Friedrich von Weizsäcker, antiguo estudiante de Heisenberg, y luego colaborador suyo, había pronunciado varias conferencias en Copenhague, poniendo en marcha de esta forma la posterior visita de éste. Weizsäcker disertó (en danés) en la Sociedad de Física y Astronomía Danesa sobre «¿Es el mundo infinito en el tiempo y el espacio?», y su conferencia fue un éxito, asistiendo tanto público que la repitió en la colaboracionista Sociedad Danesa-Alemana.

35. Esta carta se reproduce, junto al resto de los documentos pertinentes, en su original danés y en inglés en Matthias Dörries, ed., *Michael Frayn's Copenhagen in Debate. Historical Essays and Documents on the 1941 Meeting Between Niels Bohr and Werner Heisenberg* (Office for History of Science and Technology, Berkeley 2005), p. 109. Esta obra incluye también ensayos que estudian la base histórica del drama de Frayn.

36. Bohr se refiere aquí a una carta de Heisenberg publicada en la primera edición en danés (1957) del libro de Robert Jungk editado originalmente en alemán bajo el título de *Heller als Tausend Sonnen* (Scherz and Goverts Verlag, Sttutgart 1956), y más conocido por su traducción al inglés: *Brigther than a Thousand Suns* (Harcourt, Brace and Co., Nueva York 1958).

37. H. Möller, «Wissenschaft in der Emigration», *op. cit.* Es importante señalar que en el diccionario mencionado sólo se registraron profesores de universidades, así como científicos que sin cumplir este requisito habían adquirido un cierto renombre. En otras palabras, los datos se refieren a una élite científica.

38. Emil Julius Gumbel, *Freie Wissenschaft. Ein Sammelbuch aus der deutschen Emigration* (Estrasburgo 1938); citado en H. Möller, «Wissenschaft in der Emigration», *op. cit.*, p. 2.

39. Tomada de Alan D. Beyerchen, *Scientists under Hitler* (Yale University Press, New Haven 1977), p. 48. He corregido una omisión de la tabla de Beyerchen.

40. Sobre este tema consúltese: Stephen Duggan y Betty Drury, *The Rescue of Science and Learning. The Story of the Emergency Committee in Aid of Displaced Foreign Scholars* (Macmillan, Nueva York 1948) y A. J. Sherman, *Island Refuge. Britain and Refugees from the Third Reich, 1933-1939* (Paul Elek, Londres 1973). Sobre el exilio en general: F. L. Neumann, H. Peyre, E. Panofsky, W. Köhler y P. Tillich, *The Cultural Migration. The European Scholar in America* (University of Pennsylvania Press, Filadelfia 1953); *The Intellectual Migration. Europe and America, 1930-1960*, D. Fleming y B. Bailyn, eds. (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1969); Laura Fermi, *Illustrious Immigrants. The Intellectual Migration from Europe, 1930/1941* (The University of Chicago Press, Chicago 1971); Samuel S. Friedman, *No Heaven for the Oppressed. United States Policy toward Jewish Refugees, 1938-1945* (Wayne State University Press, Detroit 1973); *The Muses Flee Hitler. Cultural Transfer and Adaptation, 1930-1945, op. cit.*; Lewis A. Coser, *Refugee Scholars in America. Their Impact and their Experiences* (Yale University Press, New Haven 1984); Bob Moore, *Refugees from Nazi Germany in the Netherlands, 1933-1940* (Martinus Nijhoff, Dordrecht 1986); Mitchell G. Ash y Alfons Söllner, eds., *Forced Migration and Scientific Change. Émigré German-Speaking Scientists and Scholars after 1933* (Cambridge University Press, Cambridge 1996). Otros trabajos más concretos se citan en las notas correspondientes.

41. Copia en la *Theodore von Kármán Collection*, Robert A. Millikan Memorial Library, California Institute of Technology, Pasadena, California, caja 79.14.

42. En sus «Reminiscences» (*The Intellectual Migration*, D. Fleming y B. Bailyn, eds., *op. cit.*, pp. 94-151), Szilard menciona que se dio cuenta de que algo iba mal en Alemania hacia 1930. Cuando Hitler llegó al poder, Szilard (entonces *privatdozent* en la Universidad de Berlín) no tuvo dudas de lo que iba a ocurrir, y a partir de aquel momento tuvo preparadas sus maletas. Pocos días después del incendio del Reichstag (27 de febrero de 1933), abandonaba Berlín camino de Viena, en un tren casi vacío. Un día más tarde —de nuevo según sus memorias— el mismo tren iba totalmente lleno. En Viena, Szilard coincidió con Beveridge, comenzando ambos a hacer planes para ayudar desde Inglaterra (hacia donde el propio físico húngaro también se dirigió) a aquellos colegas que, no dudaban, pronto llegarían. Véase también la carta (no fechada) que Szilard escribió desde Londres al físico Gregory Breit, de la Universidad de Nueva York. Copia en la *Theodore von Kármán Collection*, caja 79.14.

43. Citado en A. S. Eve, *Rutherford. Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford, O. M.* (Macmillan, Nueva York 1939), p. 376.

44. Aunque a partir de la guerra la Sociedad tuvo que disminuir, por razones obvias, sus actividades, no se disolvió. Con el levantamiento de Hungría en 1956, los refugiados volvieron a aparecer, y la Sociedad reanudó sus esfuerzos. Posteriormente ayudó a exiliados de países como Argentina, Chile, Checoslovaquia, Etiopía, Irán, Irak, Jordania, Polonia, Sudáfrica, Turquía, URSS, Uruguay y Vietnam. Los interesantísimos archivos de esta asociación se encuentran depositados en la Bodleian Library de Oxford; véase Nicholas Balwin, *The Society for the Protection of Science and Learning Archive* (Bodleian Library, Oxford 1988).

45. Algunos datos acerca de la ayuda de la Fundación a los refugiados se encuentran en Finn Aaserund, *Redirecting Science. Niels Bohr, Philantropy and the Rise of Nuclear Physics* (Cambridge University Press, Cambridge 1990), capítulo 3.

46. S. Duggan y B. Drury, *The Rescue of Science and Learning*, *op. cit.*, p. 19. Es interesante conocer la nacionalidad de estas 613 personas. Sin embargo, los documentos conservados por el Comité sólo permiten referirse a 486. De ellos, más de la mitad, 248, procedían de Alemania, 53 de Austria, 36 de Polonia, 36 de Italia, 26 de Francia, 25 de Checoslovaquia, 23 de la Unión Soviética, 13 de Hungría, 8 de Bélgica, 4 de España, 4 de Suiza, 3 de Holanda, 2 de Estonia, 2 de Yugoslavia y 1 de Bulgaria, Dinamarca y Noruega (*ibid*., p. 25). En lo que a sus disciplinas se refiere, de los 613, 69 eran profesionales del derecho, 63 físicos, 54 economistas, 53 químicos, literatos 51, matemáticos 46, filósofos 43, historiadores 41, arqueólogos o expertos en arte 32, psicólogos 23, sociólogos 19, biólogos 14, músicos o musicólogos 10, expertos en ciencia política 9, teólogos 7, ingenieros 6, astrónomos 5, zoólogos 4, antropólogos 3, educadores 3, geólogos o geógrafos 1, y el resto incierto (*ibid*., p. 26). Es importante señalar, no obstante, que estas cifras del Emergency Committee deben ser tomadas con mucha precaución, ya que no cubren toda la inmigración a Estados Unidos, no ajustándose a lo que por otros medios se conoce (por ejemplo, en el caso de los psicólogos y psiquiatras).

47. Rondo Cameron, *Historia económica mundial* (Alianza, Madrid 1990), capítulo 14.

48. F. A. B. Ward, «Physics in Cambridge in the late 1920s», en *The Making of Physicists*, R. Williamson, ed. (Adam Hilger, Bristol 1987), pp. 77-85; p. 81. Más tarde Ward llegó a ser *keeper* (conservador) del Departamento de Física del Science Museum de Londres (1945-1970).

49. Véase la figura 14.2 (p. 410) de R. Cameron, *Historia económica mundial*, *op. cit*. En lo que se refiere al comercio exterior, Gran Bretaña padeció bastante, aunque también algo menos que Estados Unidos.

50. «Inmigración durante la Gran Depresión».

51. Kendall Birr, «Industrial research laboratories», en *The Sciences in the American Context: New Perspectives*, Nathan Reingold, ed. (Smithsonian Institution Press, Washington D. C. 1979), pp. 193-207.

52. Paul K. Hoch, «The reception of Central European refugee physicists», *op. cit.*, p. 226. Doy estos datos no tanto por los personajes involucrados (aunque Dennis Gabor conseguiría el premio Nobel de Física en 1971 por la invención de la holografía), sino para hacerse una idea de las industrias que intervenían.

53. Entrevista con John Cockcroft, realizada por Charles Weiner (28 de marzo de 1967), American Institute of Physics; citada en Paul K. Hoch, «The reception of Central European refugee physicists of the 1930s», *op. cit.*, p. 222. La mayor parte de los datos que estoy utilizando se refieren a físicos, por la sencilla razón de que es este caso el más estudiado, y también porque en los años treinta, los años del gran auge de la física atómica, figuraban entre las posibles «adquisiciones» más apreciadas en principio, de manera que si ellos tenían problemas, ¿qué no ocurriría en otros casos? Acerca de los matemáticos, véase Colin R. Fletcher, «Refugee mathematicians: a German crisis and a British response, 1933-1936», *Historia Mathematica 13*, 13-27 (1986).

54. Frisch estuvo en Londres, procedente de Alemania, en 1933-1934, pero después se trasladó a Dinamarca, donde estuvo hasta 1939, año en que regresó a Inglaterra. Nos volveremos a encontrar con él en el próximo capítulo.

55. M. Born, *My Life. Recollections of a Nobel Laureate* (Charles Scribner's, Nueva York 1978); R. Peierls, *Bird of Passage* (Princeton University Press, Princeton 1985); Otto R. Frisch, *De la fisión del átomo a la bomba de hidrógeno. Recuerdos de un físico nuclear* (Alianza, Madrid 1982, edición original en inglés de 1979).

56. En lo que corresponde a otras ciencias que no sean la física, hay que señalar que se sabe menos con relación al tema que estoy estudiando ahora: la emigración. Así ocurre con la química (un punto ya señalado por John Servos en «History of Chemistry», *Osiris 1*, 132-146 [1985]). Y tengamos en cuenta que los químicos constituían la mayor comunidad científica en Estados Unidos desde mediados del siglo XIX (tal vez por esto nos encontremos, cuando dispongamos de datos precisos, con una menor inmigración con anterioridad a 1933: al existir un grupo importante, las carencias eran menores, no siendo necesario recurrir a Europa). Utilizando una muestra de 754 químicos extranjeros que emigraron a Estados Unidos, Thomas Carroll («Immigrants in American chemistry», en *The Muses Flee Hitler*, *op. cit.*, pp. 189-203) ha encontrado que 32 (el 4 por 100 del total) llegaron a Norteamérica antes de 1848; 20 (3 por 100) entre 1848 y 1865, 167 (22 por 100) en 1866-1918, 266 (35 por 100), en 1819-1932, 100 (13 por 100) en 1933-1937, y 142 (19 por 100) en 1938-1950 (el resto está sin identificar), lo que quiere decir que la mayor intensidad de químicos que emigraban a Estados Unidos tuvo lugar antes (1866-1918) del período en el que la llegada de físicos europeos se hizo realmente importante (mediados de 1920 en adelante), un dato que es coherente con el distinto desarrollo científico de ambas disciplinas. Hay que mencionar, no obstante, que los criterios empleados por Carroll —y que él no explicita— para identificar «químicos» pueden ser dudosos, toda vez que en otro lugar encontramos, por ejemplo, que se considera a Severo Ochoa un «químico refugiado que obtuvo el premio Nobel» (p. 199). Con relación a la matemática, quiero señalar la influencia que ejercieron dos matemáticos: el británico James Joseph Sylvester (1814-1897), que con sesenta y un años fue contratado en 1876 por la Universidad Johns Hopkins, que se había creado aquel mismo año, permaneciendo en ella hasta 1883, y el alemán Felix Klein, que en 1893 realizó una visita de siete semanas a Estados Unidos. Véase Karen Hunger Parshall y David E. Rowe, *The Emergence of the American Mathematical Research Community*, *1876-1900: J. J. Sylvester*, *Felix Klein*, *and E. H. Moore* (American Mathematical Society/London Mathematical Society, Providence 1994).

57. Véase *Physics for a New Century. Papers Presented at the 1904 St. Louis Congress*, K. R. Sopka, comp. (American Institute of Physics, Nueva York 1986).

58. Citado en John Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America* (Princeton University Press, Princeton 1990), p. 241. Boltzmann reunió sus impresiones de América en «Reise eines deutschen Professors ins Eldorado», incluido en *Populare Schrifthen* (J. A. Barth, Leipzig 1905), pp. 403-435; existe una versión inglesa abreviada: «A German professors's trip to El Dorado», *Physics Today 45*, 44-51 (enero de 1992).

59. M. Eckert, W. Pricha, H. Schubert y G. Torkar, *Geheimrat Sommerfeld-Theoretischer Physiker* (Deutsches Museum, Múnich 1984); Abraham Pais, *Niels Bohr's Times. In Physics, Philosophy, and Policy* (Clarendon Press, Oxford 1991), pp. 253-254.

60. Se pueden encontrar más ejemplos, o discusiones más detalladas acerca de la inmigración científica europea anterior a 1933, en: Katherine R. Sopka, *Quantum Physics in America*, *1920-1935* (Arno Press, Nueva York 1980); Daniel J. Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Alfred A. Knopf, Nueva York 1978), capítulo XIV; S. S. Schweber, «The empiricist temper regnant: theoretical physics in the United States, 1920-1950», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 17* (1), 55-98 (1986).

61. Los trabajos más detallados y completos sobre la emigración de físicos y matemáticos a Estados Unidos son los de Robin Rider, «Alarm and opportunity: emigration of mathematicians and physicists to Britain and United States», y Nathan Reingold, «Refugee mathematicians in the United States of America, 1933-1941: Reception and reaction», *Annals of Science 38*, 313-338 (1981). En lo que sigue utilizaré con frecuencia datos incluidos en estos trabajos.

62. Spencer R. Weart, «The physics business in America, 1919-1940: a statistical reconnaissance», en *The Sciences in the American Context: New Perspectives*, Nathan Reingold, ed. (Smithsonian Institution Press, Washington D. C. 1979), pp. 295-385; figura 2.

63. Datos tomados de A. Thackray, J. L. Sturchio, P. T. Carroll y R. Bud, *Chemistry in America*, *1876-1976* (Reidel, Dordrecht 1985), tabla 5.4, p. 345.

64. *Ibid*, p. 347.

65. Lipman Bers, «The migration of European mathematicians to America», en *A Century of Mathematics in America*, parte I, Peter Duren, ed. (American Mathematical Society, Providence 1988), pp. 231-243; p. 235.

66. Robert W. Seidel, *Physics Research in California: The Rise of a Leading Sector in American Physics*, tesis doctoral (University of California, Berkeley 1978), p. 79.

67. Citado en Charles Weiner, «Physics in the Great Depression», *Physics Today*, octubre de 1970; reimpreso en *History of Physics*, S. R. Weart y M. Phillips, eds. (American Institute of Physics, Nueva York 1985), pp. 115-121; p. 117.

68. A. Trackray *et al.*, *Chemistry in America*, *1876-1976*, *op. cit.*, tabla 3.3, pp. 265-266. Como apoyo a la afirmación realizada acerca del mayor número de doctorados en química, se tiene que entre 1894 y 1915 se doctoraron 310 físicos en las principales universidades estadounidenses; 203 matemáticos (entre 1891-1915) y 471 químicos (entre 1892 y 1915); Daniel J. Kevles y Carolyn Harding, «The physics, mathematics, and chemical communities in America, 1870-1915», *Social Science Working Paper*, n.° 136 (marzo de 1977), tabla 8, p. 16.

69. A. Hunter Dupree, *Science in the Federal Government* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1986; publicado inicialmente en 1957), capítulo XVIII («The Depression and the New Deal»).

70. Para una descripción de medidas especiales que se tomaron en apoyo a la investigación y enseñanza, en el caso de la física, consúltese S. R. Weart, «The physics business in America, 1919-1940», *op. cit*.

71. N. Reingold, «Refugee mathematicians in the United States», *op. cit.*, p. 183; R. H. Stuewer, «Nuclear physicists in a New World», *op. cit.*, p. 29.

72. «May Jews go to college?», *The Nation 114*, 708 (1922); citado en P. K. Hoch, «The reception of Central European refugee physicists», *op. cit.*, p. 239.

73. *Robert Oppenheimer. Letters and Recollections*, A. K. Smith y C. Weiner, eds. (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1980), p. 77.

74. N. Reingold, «Refugee mathematicians in the United States», *op. cit.*, sección 4.

75. Lista extraída, con alguna corrección, de «300 notable émigrés», en *The Intellectual Migration*, D. Fleming y B. Bailyn, eds. (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1969), pp.675-718. Se incluyen únicamente aquellos que se instalaron definitivamente —o durante mucho tiempo— en Estados Unidos. Entre paréntesis he añadido (utilizando datos del *International Biographical Dictionary of Central European Émigrés* y de otras fuentes) el año en que emigraron a Estados Unidos.

76. Otra de las consecuencias de la política y actitudes del régimen nacionalsocialista fue la reducción drástica, hasta llegar a la eliminación, de la importante ayuda que, como vimos en el capítulo anterior, la Fundación Rockefeller estaba prestando, dentro de sus programas, a la ciencia germana. A partir de 1928, con la reorganización de la Fundación, uno de cuyos principios fue la promoción a la ciencia básica, Alemania había visto aumentadas las ayudas que recibía; entre 1929 y 1933 la Fundación Rockefeller repartió allí 1.000.000 dólares. En 1934 y 1935, en medio de grandes dudas acerca de la conveniencia o no de seguir, la Fundación todavía continuó con su política, concediendo 526.655 dólares (aunque, de hecho, la mayor parte correspondió a un Instituto de Física para la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft, ayuda ya comprometida), pero a partir de ese momento las cantidades fueron disminuyendo con rapidez: 47.866 dólares en 1936, 23.760 en 1937, 11.301 en 1938 y 4.884 en 1939. Malcom Richardson, «Philantropy and the internationality of learning: The Rockefeller Foundation and National Socialist Germany», *Minerva 28*, 21-58 (1990), Gregory A. Good, «The Rockefeller Foundation, the Leipzig Geophysical Institute, and National Socialism in the 1930s», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 21* (2), 299-316 (1991), y Raymond B. Fosdick, *La Fundación Rockefeller* (Biografías Gandesa, México 1957).

77. Algunas de las ideas incluidas en esta sección proceden de José M. Sánchez Ron, «Ciencia, fascismo y democracia», *Claves de razón práctica*, n.° 12, pp. 50-55 (mayo de 1991).

78. Samuel Goudsmit, *Alsos* (Tomash Publs., Los Ángeles 1983; publicado inicialmente en 1947), pp. XXVI-XXVII.

79. Cursivas añadidas.

80. Sobre este punto, al igual que algunos de los detalles que sostienen las consideraciones que siguen, véanse A. D. Beyerchen, *Scientists under Hitler, op. cit.*, y Mark Walker, *German National Socialism and the Quest for Nuclear Power*, *1939-1949* (Cambridge University Press, Cambridge 1989).

81. En aquella reunión, la primera en celebrarse después de la Guerra Mundial, Lenard atacó públicamente a Einstein.

82. El general Erich Friedrich Wilhelm von Ludendorff (1865-1937) había servido en la Primera Guerra Mundial y apoyaba los planes de Hitler de una «revolución nacional». Ernst Pöhner (1870-1925), el jefe de la policía de Múnich, simpatizaba con Hitler y fue designado por éste como el nuevo «primer ministro» con poderes dictatoriales durante el *putsch*.

83. Reproducida (en inglés) en K. Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources*, *op. cit.*, pp. 7-11.

84. En febrero de 1936, Stark escribía: «Ahora Einstein ha desaparecido de Alemania y ningún físico serio ve aún su teoría de la relatividad como una revelación intocable. Pero desgraciadamente sus amigos y defensores alemanes todavía tienen la oportunidad de continuar activos en su mismo espíritu. Su principal valedor, Planck, aún permanece a la cabeza de la Kaiser-Wilhelm Gesellschaft; a su intérprete y amigo, von Laue, se le sigue permitiendo desempeñar el papel de experto en física en la Academia Prusiana de Ciencias. Y aparentemente al formalista teórico Heisenberg, espíritu del espíritu de Einstein, se le distingue con una nueva cátedra. Esperemos que la lucha de Lenard contra el einsteinianismo sea un aviso, en contraste a estas circunstancias deplorables. Y es deseable que los expertos competentes del Ministerio de Educación se dejen aconsejar por Lenard en lo que se refiere a la ocupación de cátedras de física, incluso de física teórica». Citado por A. Beyerchen, *Scientists under Hitler*, *op. cit.*, pp. 143-144.

85. Elisabeth Heisenberg, *Inner Exile. Recollections of a Life with Werner Heisenberg* (Birkhäuser, Boston 1984).

86. *German National Socialism and the Quest for Nuclear Power*, *op. cit.*

87. Herbert Mehrtens, «Ludwig Bieberbach and “Deutsche Mathematik”», en *Studies in the History of Mathematics*, E. R. Phillips, ed. (The Mathematical Association of America, 1987), pp. 195-241; p. 224. Sobre la Deutsche Mathematik, y en general sobre la matemática durante el régimen de Hitler, véase Sanford L. Segal, *Mathematics under the Nazis* (Princeton University Press, Princeton 2003).

88. Otro joven *privatdozent* de Gotinga marginado fue el físico, que también trabajó en filosofía y lógica, Paul Hertz, que se instaló primero en Ginebra, después en Praga y finalmente (1938) en Estados Unidos (Filadelfia).

89. Citada en S. L. Segal, *Mathematics under the Nazis*, *op. cit.*, pp. 458-459.

90. Esta fecha no se ajusta bien a la cronología real de los sucesos. Tal vez esté mal datada, o acaso lo que iba a suceder era ya de dominio público. La carta se reproduce en Miklós Rédei, ed., *John von Neumann: Selected Letters* (American Mathematical Society/ London Mathematical Society, Providence 2005), p. 264.

91. Véase Bernhelm Booss-Bavnbek y Jens Hoyrup, eds., *Mathematics and War* (Birkhäuser, Basilea 2003). También Herbert Mehrtens, «Mathematics and war: Germany, 1900-1945», en Paul Forman y José M. Sánchez Ron, eds., *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology* (Kluwer, Dordrecht 1996), pp. 87-134.

92. La «entrada» de Prandtl en la disciplina se produjo en el tercer Congreso Internacional de Matemáticos (Heidelberg, 1904), donde presentó un trabajo, a la postre fundamental para la aerodinámica, sobre el movimiento de un fluido con muy poca fricción, en el que presentó la hipótesis de la «capa límite», que pronto se hizo célebre. Sobre Prandtl, véase Paul A. Hanle, *Bringing Aerodynamics to America* (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1982).

93. He aquí cómo se refirió von Kármán a Prandtl en uno de sus libros: «La persona que dio a la teoría moderna del ala una forma matemática práctica es uno de los más eminentes representantes de la ciencia de la Mecánica, en especial de la Mecánica de Fluidos, de todos los tiempos, a saber: Ludwig Prandtl. Fue mi maestro en la Universidad de Gotinga; yo era su auxiliar. Sus mayores contribuciones a la Mecánica de Fluidos fueron realizadas en el campo de la teoría del ala y de la capa límite... Prandtl era un ingeniero por formación, dotado de una rara visión para comprender los fenómenos físicos y con una extraordinaria habilidad para expresar las leyes mecánicas en forma matemática relativamente sencilla. Su dominio sobre los métodos y artificios matemáticos era limitado. Muchos de sus colaboradores y discípulos le aventajaban en la facultad de resolver difíciles problemas matemáticos, pero su maestría en el arte de encontrar soluciones sencillas que expresen las relaciones físicas esenciales prescindiendo de las que no lo son, era única incluso teniendo presente las cualidades de sus grandes predecesores en el campo de la Mecánica, tales como Leonhard Euler y d'Alembert»; Theodore von Kármán, *Aerodinámica. Temas seleccionados a la luz de su desarrollo histórico* (INTA, Madrid 1954); pp. 51-52. Sobre von Kármán, véase José M. Sánchez Ron, *INTA. 50 años de ciencia y técnica aeroespacial* (Ministerio de Defensa/Doce Calles/INTA, Madrid 1997), cap. 3.

94. En sus memorias, von Kármán señaló este punto, basándose en lo que le había contado un testigo directo, Richard Courante. Theodore von Kármán (con Lee Edson), *The Wind and Beyond* (Little, Brown and Co., Boston 1967), pp. 38-40.

95. Sobre Peenemünde, véase Michael J. Neufeld, *The Rocket and the Reich. Peenemünde and the Coming of the Ballistic Missile Era* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1995).

96. Véase Dennis Piszkiewicz, *Wernher von Braun. The Man Who Sold the Moon* (Praeger, Westport, Connecticut 1998).

97. Podría incluir otros, como el químico austríaco y futura figura central en el desarrollo de la biología molecular, Max Perutz, que abandonó Viena por Cambridge en 1936, esto es, antes de la anexión de Austria por Alemania.

98. Reproducido (en inglés) en K. Hentschel, ed., *Physics and National Socialism. An Anthology of Primary Sources*, *op. cit.*, p. 142. Carl von Ossietzky era editor de *Die Weltbühne*, un semanario de izquierdas. En noviembre de 1931 fue sentenciado a dieciocho meses de prisión, siendo amnistiado en diciembre de 1932. En febrero de 1933, con Hitler ya en el poder, fue enviado al campo de concentración de Papenburg-Esterwegen, donde contrajo tuberculosis, de la que falleció en un hospital de Berlín el 4 de mayo de 1938.

99. H. Stubbe, «Erbkrankheiten bei Pflanzen», *Der Erbarzt 8*, 69 (1935).

100. N. V. Timoféeff-Ressovsky, «Experimentelle Untersuchungen der erblichen Belastung von Populationen», *Der Erbarzt 8*, 117-118 (1935).

101. N. W. Timoféeff-Ressovsky, K. G. Zimmer y M. Delbrück, «Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur», *Nachrichten von de. Gesellschaft für Wissenschaften zu Göttingen*, *Math.-Phys. Klasse*, *Fachgruupe VI*, 189-245 (1935).

102. Véase, por ejemplo, Stefan Kühl, «The relationship between Eugenics and the so-called “Euthanasia action” in nazi Germany: a eugenically motivated peace policy and the killing of the mentally handicapped during the Second World War», en Margit Szollósi-Janze, ed., *Science in the Third Reich* (Berg, Oxford 2001), pp. 185-210.

103. Kristie Macrakis, *Surviving the Swastika. Scientific Research in Nazi Germany* (Oxford University Press, Nueva York 1993), p. 111. Sobre la higiene racial en Alemania, véase Robert N. Proctor, *Racial Hygiene. Medicine under the Nazis* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1988).

104. Para más información sobre la biología en el régimen nazi, véase Ute Deichmann, *Biologists under Hitler* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1996; edición original en alemán de 1992).

105. La historia del proyecto nuclear alemán se relata en M. Walker, *German National Socialism and the Quest for Nuclear Power, 1939-1949*, *op. cit.*

106. Albert Speer, *Memorias. Los recuerdos del arquitecto y ministro de Armamento de Hitler* (El Acantilado, Barcelona 2001; edición original en alemán de 1969), pp. 415-418.

107. *Ibid.*, p. 419.

108. Me ocuparé del proyecto atómico estadounidense en el capítulo siguiente.

109. Citado en Michael Eckert, «Theoretical physicists at war: Sommerfeld students in Germany and as emigrants», en *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology: Studies in Twentieth Century History*, P. Forman y J. M. Sánchez Ron, eds., *op. cit.*, pp. 69-86; cita en pp. 72-73. En este trabajo de Eckert se comentan las diferencias entre la física germana y la estadounidense señaladas en la carta de Bethe.

110. El caso de IG Farben es también muy interesante. Los productos de esta industria química llegaron a ser esenciales para la Alemania nazi. El caucho sintético de las ruedas de los vehículos de guerra alemanes y el fuel obtenido del carbón que les impulsaba, el gas empleado en Auschwitz, e incluso los medicamentos que el médico de Hitler, Theo Morell, introducía en la sangre del *Führer*, procedían de las fábricas de IG Farben. Hacia 1943, las 334 plantas y minas que poseía a lo largo y ancho de Alemania y Europa producían más de 3.000 millones de marcos en bienes y 500 en ganancias netas. Véase Peter Huyes, *Industry and Ideology. IG Farben in the Nazi Era* (Cambridge University Press, Cambridge 1987).

111. Spencer R. Weart, *Scientists in Power* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1979), capítulo 11.

112. El caso de Robert Havemann (1910-1982) es particularmente interesante. En 1933, perdió su puesto en el Instituto de la Asociación Káiser Guillermo dirigido por Haber, y después de la guerra se trasladó voluntariamente del Berlín occidental a la zona oriental. Sin embargo, tras un período de influencia en la República Democrática, su actitud crítica y su inconformismo (sobre todo a partir de la publicación de su libro *Dialektik ohne dogma?* [1964]) le produjeron numerosas dificultades: pérdida de su cátedra en la Universidad Humboldt, expulsión del partido comunista y separación de su trabajo científico. Existe traducción al español (de Manuel Sacristán) de *Dialektik ohne dogma?*: Robert Havemann, *Dialéctica sin dogma* (Ariel, Barcelona 1967). La nobleza de sus pretensiones queda clara en las palabras con que Havemann terminaba su prólogo: «Éste es un libro comunista. Pero se dirige a hombres de cualquier fe y de cualquier tendencia política. No exige adhesión acrítica, sino que mueve a contradicción y a duda. Sólo mediante la dubitación de lo viejo superamos lo viejo y preservamos su riqueza, y sólo mediante la dubitación de lo nuevo conquistamos lo nuevo y lo mantenemos vivo». Véase también Robert Havemann, *Autobiografía de un marxista alemán* (Ariel, Barcelona 1974; edición original en alemán de 1970). Sobre Havemann, véase Dieter Hoffmann, «Robert Havemann: antifascist, communist, dissident», en Kristie Macrakis y Dieter Hoffmann, *Science under Socialism. East Germany in Comparative Perspective* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1999), pp. 269-285.

113. Antes (en septiembre de 1946) se había establecido una Sociedad Max Planck en la zona británica.

114. Thomas Stam, «New opportunities –old traditions: The struggle for autonomy of post-war German science», en *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States 1945-1960*, M. de Maria, M. Grilli y F. Sebastiani, eds. (World Scientific, Singapur 1989), pp. 228-246.

115. El manifiesto se reproduce en Otto Hahn, *My Life* (MacDonald, Londres 1970), pp. 222-224. Los firmantes fueron: F. Bopp, M. Born, R. Fleischmann, W. Gerlach, O. Hahn, O. Haxel, W. Heisenberg, H. Kopfermann, M. von Laue, H. Mainer-Leibnitz, J. Mattauch, F.-A. Paneth, W. Paul, W. Riezler, F. Strassmann, W. Walcher, C. F. von Weizsäcker y K. Wirtz.

116. El caso de Hahn es particularmente interesante. Como parte de su misión, el grupo «Alsos» detuvo a diez científicos alemanes, entre los que se encontraban Heisenberg, von Laue, Gerlach, von Weizsäcker y el propio Hahn. La idea era evitar su posible captura por los soviéticos, así como extraer de ellos la mayor información posible acerca del programa nuclear alemán. Se les llevó a Farm Hall, una finca cerca de Cambridge, donde se les tuvo detenidos durante varios meses, siendo grabadas sus conversaciones (sin su conocimiento). Cuando llegó la noticia del lanzamiento de la bomba atómica sobre Hiroshima, Hahn, que se sintió responsable de la tragedia, al haber sido quien descubrió la fisión, se sintió profundamente abatido, lo que hizo pensar a algunos que podría intentar suicidarse; por este motivo, von Laue no se separó de él durante algunos días. Aparentemente, Hahn ya había considerado la posibilidad de suicidarse cuando se dio cuenta de las posibles aplicaciones militares de la fisión. Las reacciones de otros internados en Farm Hall oscilaron entre la incredulidad inicial y la autoinculpación por no haber sido capaces de haber logrado lo que sus colegas de Norteamérica. Las transcripciones de las conversaciones se han publicado en *Operation Epsilon. The Farm Hall Transcripts* (Institute of Physics Publishing, Bristol 1993). Véanse, asimismo, Lawrence Badash, «Otto Hahn, science, and social responsibility», en *Otto Hahn and the Rise of Nuclear Physics*, W. R. Shea, ed. (Reidel, Dordrecht 1983), pp. 167-180, y M. Walker, *German National Socialism and the Quest of Nuclear Power*, *op. cit.*, pp. 160-165.

117. John Gimbel, *Science, Technology, and Reparations. Explotation and Plunder in Postwar Germany* (Stanford University Press, Stanford 1990).

118. Th. von Kármán, *Aerodinámica. Temas seleccionados a la luz de su desarrollo histórico*, *op. cit.*, p. 139.

119. Sobre el exilio científico, véase Ernesto García Camarero, «La ciencia española en el exilio de 1939», en José Luis Abellán, dir., *El exilio español de 1939* (Taurus, Madrid 1978), pp. 189-243; Francisco Giral, *Ciencia española en el exilio (1939-1989)* (Anthropos, Barcelona 1994); y para el caso particular de la medicina, Francisco Guerra, *La medicina en el exilio republicano* (Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares 2003).

120. Lorente de Nó y Ochoa terminaron instalándose en Estados Unidos, donde el segundo realizó investigaciones fundamentales en bioquímica y biología molecular por las que recibió el premio Nobel de Medicina en 1959.

121. Citado en José M. Sánchez Ron, «Política científica e ideología: Albareda y los primeros años del Consejo Superior de Investigaciones Científicas», *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, n.° 14 (agosto de 1992), pp. 53-74; p. 68; y en José M. Sánchez Ron, *Cincel, martillo y piedra* (Taurus, Madrid 1999), p. 343.

122. *Ibid.*

123. En la estructura del Consejo, no faltó un Instituto «Francisco Suárez» de Teología, que dirigía el obispo de Madrid-Alcalá, Leopoldo Eijo y Garay.

124. Javier Braña, Mikel Buesa y José Molero, *El Estado y el cambio tecnológico en la industrialización tardía. Un análisis del caso español* (Fondo de Cultura Económica, México/Madrid 1984).

125. El Patronato «Juan de la Cierva» ha sido estudiado por Santiago López García, *El saber tecnológico en la política industrial del franquismo*, tesis doctoral (Universidad Complutense, Madrid 1994). Véanse, asimismo, Santiago López García y Luis Sanz Menéndez, «Política tecnológica *versus* política científica durante el franquismo», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria 2*, 77-118 (1997), y Luis Sanz Menéndez, *Estado, ciencia y tecnología en España: 1939-1998* (Alianza Editorial, Madrid 1997).

126. Manuel Lora-Tamayo, *Lo que yo he conocido. Recuerdos de un viejo catedrático que fue ministro* (Federico Joly, Puerto Real 1993).

127. Sobre el INTA, véase J. M. Sánchez Ron *INTA. 50 años de ciencia y técnica aeroespacial*, *op. cit.*

128. Liñán recibió en 1993 el premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica.

1. D. J. de la Solla Price, *Hacia una ciencia de la ciencia* (Ariel, Barcelona 1973; edición original en inglés de 1963). En realidad, como el propio de la Solla Price advierte, este fenómeno ha sido cierto también en el pasado; sin embargo, el carácter exponencial de la ley hace que las magnitudes sean cada vez más aparatosas y, por consiguiente, que hoy podamos utilizar tal resultado para argumentar acerca de la situación de abundancia en que se encuentra la ciencia comparada con la de épocas pasadas. Por otra parte, está el hecho de que no es posible que continúe indefinidamente el crecimiento. Según el propio Price: «Falta, en consecuencia, menos de un siglo para el día del juicio final de la ciencia» (p. 55).

2. Veamos cómo han variado las cifras de científicos e ingenieros dedicados a la investigación y el desarrollo durante los últimos años:

	Número	*Número por*
	millón de habitantes	
Total mundial	2.6[illegible]000	[illegible]
Países desarrollados	3.7[illegible]000	[illegible]
Países en desarrollo	2.3[illegible]782	[illegible]
	3.3[illegible]872	[illegible]
	2[illegible]018	[illegible]
	4[illegible]028	[illegible]

Fuente: UNESCO Statistical Yearbook 1988, tabla 5.2, pp. 5-15. Véase asimismo, Marek Thee, «Science and technology: between civilian and military research and development», UNIDIR/90/97 (United Nations, Nueva York 1990), p. 7.

3. El uranio tiene número atómico 92 y el bario, 56.

4. Otto Hahn y Fritz Strassmann, «Über den Nachweis und das Verhalten der bei Bersestrahlung des urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle», *Naturwissenschaften* 27, 11-15 (1939), p. 11.

5. Otto R. Frisch, *Del átomo a la bomba de hidrógeno. Recuerdos de un físico nuclear* (Alianza Editorial, Madrid 1982), pp. 140-141.

6. Lise Meitner y Otto R. Frisch, «Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction», *Nature 143*, 239-240 (1939). John A. Wheeler, «Some men and moments in the history of nuclear physics: The interplay of colleagues and motivations», en *Nuclear Physics in Retrospect*, Roger H. Stuewer, ed. (University of Minnesota Press, Minneapolis 1979), pp. 217-306; pp. 272 y ss.; Roger H. Stuewer, «Bringing the news of fission to America», *Physics Today* (octubre de 1985), reimpreso en *Physics and Nuclear Arms Today*, David Hafemeister, ed. (American Institute of Physics, Nueva York 1991), pp. 260-268; Abraham Pais, *Niels Bohr's Times*, *in Physics*, *Philosophy*, *and Polity* (Clarendon Press, Oxford 1991), cap. 20.

7. Léon Rosenfeld, «Nuclear reminiscences», en *Cosmology*, *Fusion and Other Matters: George Gamow Memorial Volume*, Frederick Reines ed. (Colorado Associated Universities Press, Colorado 1972), pp. 289-299; reproducido en *Selected papers of Léon Rosenfeld*, R. S. Cohen y J. J. Stachel, eds. (Reidel, Dordrecht 1979), pp. 335-345; p. 343.

8. *Robert Oppenheimer. Letters and Recollections*, Alice K. Smith y Charles Weiner, eds. (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1980), pp. 207-208.

9. El valor correcto es de 2,4 neutrones para el caso del uranio-235.

10. H. de Wolf Smyth, *La energía atómica al servicio de la guerra* (Espasa-Calpe Buenos Aires 1946), pp. 50-51. Aunque no un trabajo de naturaleza histórica, esta obra constituye una fuente magnífica para entender el desarrollo que condujo a la construcción de las bombas atómicas de uranio y plutonio. El informe de Smyth fue leído con avidez por los físicos de todo el mundo nada más ser publicado. Sobre la medida en que estos resultados eran realmente «conocidos generalmente», véase *Leo Szilard: His Version of the Facts*, S. R. Weart y G. Weiss Szilard, eds. (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1978).

11. El diferente comportamiento del U-235 y del U-238 en la fisión es algo que se le ocurrió a Bohr en Princeton. J. A. Wheeler, «Some men and moments in the history of nuclear physics», *op. cit.*, p. 276.

12. Los restantes isótopos son ya mucho menos abundantes: la proporción de U234, por ejemplo, es del 0,0055 por 100.

13. Leo Szilard, «Reminiscences», en *The Intellectual Migration. Europe and America, 1930-1960* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1969), pp. 94-151; p. 100. Véase, asimismo, *Leo Szilard: His version of the Facts*, *op. cit.*

14. Reproducida en *The Collected Works of Leo Szilard. Scientific Papers*, B. T. Feld y G. Weiss Szilard. eds. (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1972), pp. 622-638. En 1936 depositó otra patente, asignada también al Almirantazgo. Esta patente se mantuvo secreta, no siendo publicada hasta el 28 de septiembre de 1949. La primera patente se ocupaba de la generación de elementos radiactivos mediante neutrones y de la separación química de elementos radiactivos de los isótopos no radiactivos. La segunda trataba de la idea de la reacción en cadena. No era la primera vez que Szilard obtenía patentes. Antes, en Alemania, también las había conseguido, entre ellas una con Einstein sobre un refrigerador no mecánico (A. Einstein y L. Szilard, «U.S. Patent 1.781.541», concedida el 11 de noviembre de 1930, pero presentada el 16 de diciembre de 1927; *The Collected Works*, *op. cit.*, parte V.

15. Mantuvo su beca en Oxford, pero sólo para períodos de seis meses, que debería, por supuesto, pasar en Inglaterra.

16. Más detalles en Spencer R. Weart, «Scientists with a secret», *Physics Today 29* (febrero de 1976), reimpreso en *Physics and Nuclear Arms Today*, *op. cit.*, pp. 275-281, en L. Szilard, «Reminiscences», *op. cit.*, y en *His Version of the Facts*, *op. cit.* Véase, asimismo, Spencer R. Weart, *Scientists in Power* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1979), que contiene un análisis de los trabajos del grupo de Joliot-Curie en París y sus relaciones con los americanos.

17. H. von Halban, jr., F. Joliot y L. Kowarski, «Liberation of neutrons in the nuclear explosion of uranium», *Nature 143*, 470-472 (18 de marzo de 1939).

18. Los valores aceptados en la actualidad son los siguientes (doy también los datos relativos al plutonio, elemento al que me refiero más adelante):

NÚMERO MEDIO DE NEUTRONES EMITIDOS POR NÚMERO CAPTURADO

Isótopo	*Neutrones térmicos*	*Neutrones rápidos*
U-233	2,295	2,457
U-235	2,077	2,087
U-238	0,097	
U natural	1,347	1,397
Pu-239	2,085	2,957

Dietrich Schroeer, *Science, Technology and the Nuclear Arms Race* (John Wiley, Nueva York 1984), p. 21.

19. De los soviéticos me ocupo más adelante.

20. Richard G. Hewlett y Oscar E. Anderson, jr., *The New World. A History of the United States Atomic Energy Commission*, vol. I (*1939-1946*) (University of California Press, Berkeley 1990), p. 17.

21. A la carta de Einstein le acompañaba otra de Szilard a Sachs, fechada el 15 de agosto, a la que iba unida un *memorandum* de cuatro páginas al presidente, también de Szilard y con la misma fecha. La carta de Einstein se reproduce en bastantes lugares; uno, que incluye otros documentos del Proyecto Manhattan (incluyendo muchos que en su momento fueron de carácter reservado) es Michael B. Stoff, Jonathan F. Fanton y R. Hal Williams, *The Manhattan Project. A Documentary Introduction to the Atomic Age* (McGraw-Hill, Nueva York 1991), pp. 18-19.

22. L. Szilard, «Reminiscences», *op. cit.*, p. 119.

23. El artículo de Szilard («Divergent chain reactions in systems composed of uranium and carbon») no fue, finalmente, publicado. Constituye el informe A-55 del Comité del Uranio y sólo después de la guerra pudo ser desclasificado. Véase, *The Collected Works of Leo Szilard. Scientific Papers*, *op. cit.*, pp. 216-256.

24. Incluida en Miklós Rédei, ed., *John von Neumann: Selected Letters* (American Mathematical Society/London Mathematical Society, Providence 2005), pp. 43-44.

25. Otros científicos que también se impacientaron, Szilard, Wigner y Teller aparte, fueron Karl Compton y Harold Urey.

26. Como se observa, los nombres asignados a estos elementos siguen la misma secuencia que los planetas más alejados del Sol: uranio (elemento 92)-Urano, neptunio (93)-Neptuno, plutonio (94)-Plutón. Las reacciones principales son las siguientes (Np = neptunio; Pu = plutonio; n = neutrón):

$$_{92}U238 + {}_{0}n1 \rightarrow {}_{92}U239 \rightarrow {}_{93}Np239 \rightarrow {}_{94}Pu239 \rightarrow {}_{92}U235$$

27. Rudolf Peierls, *Bird of Passage* (Princeton University Press, Princeton 1985), pp. 153 y ss.

28. Resultó ser que se necesitan entre 5 y 10 kilogramos.

29. El informe de Frisch y Peierls se reproduce en Margaret Gowing, *Britain and Atomic Energy*, *1939-1945* (Macmillan, Londres 1964), pp. 389-393.

30. El Comité «político» estaba formado por George P. Thomson (que lo dirigía), James Chadwick, John D. Cockcroft, Mark L. Oliphant, Patrick M. S. Blackett, Charles D. Ellis, William Haworth y P. B. Moon.

31. La historia de la elección de este nombre es la siguiente. Cuando Dinamarca fue invadida por Alemania, Bohr envió un telegrama a Frisch, al final del cual decía: «Informa a Cockcroft y a Maud Ray Kent». Se pensó entonces que esto era un mensaje en clave sobre el radio o acaso sobre la desintegración del uranio, y únicamente después de la guerra se supo que existía una señora llamada Maud Ray, que vivía en Kent, y que había sido institutriz de los hijos de Bohr y a la que éste quería que se informase de la invasión sufrida por Dinamarca.

32. Cuando Francia cayó, Hans von Halban y Lew Kowarski, que como he señalado abandonaron París, llevaron a Inglaterra el agua pesada que utilizaban en su laboratorio, y que habían obtenido en Noruega. El grupo francés se había concentrado en el proyecto de producir una reacción en cadena utilizando como moderador agua pesada. Halban y Kowarski se instalaron en Cambridge, donde se les proporcionaron facilidades para que continuasen con sus trabajos, contribuyendo de manera importante al proyecto nuclear británico. Maurice Goldsmith, *Frédéric Joliot-Curie* (Laurence and Wishart, Londres 1976), pp. 89 y ss.

33. Los informes preparados por el Comité MAUD («Report by M.A.U.D. Committee on the use of uranium for a bomb», «Report by M.A.U.D. Committee on the use of uranium as a source of power», y varios apéndices) se reproducen en M. Gowing, *Britain and Atomic Energy*, *1939-1945*, *op. cit.*, pp. 394-436. Partes del informe de Frisch y Peierls también se incluyen en Robert Serber, *The Los Alamos Primer. The First Lectures on How to Build an Atomic Bomb* (University of California Press, Berkeley 1992), pp. 79-88.

34. En 1937 el Cavendish construyó un ciclotrón de 1 MV. El año siguiente ya disponía de uno que alcanzaba los 8 MV. Fue construido por la Metropolitan Vickers Company y por el personal del Cavendish bajo la dirección de Cockcroft. W. E. Burcham, «Nuclear physics in the United Kingdom, 1911-1986», *Report on Progress of Physics 52*, 823-879 (1989); p. 833.

35. A comienzos de 1941, Lawrence también empezó a ocuparse en Berkeley de la separación de isótopos, intentando desarrollar procesos electromagnéticos.

36. En el otoño de 1940 una misión británica, encabezada por Henry Tizard, director de la Board of Defense Research del Department of Scientific and Industrial Research, había visitado Estados Unidos para establecer contactos y abrir una puerta a la colaboración.

37. Margaret Gowing, «Britain, America and the bomb», en *Retrear from Power: Studies in Britain's Foreign Policy of the Twentieth Century*, David Dilks, ed. (Macmillan, Londres 1981), pp. 50-65; 54.

38. John W. Servos, «Mathematics and the physical sciences in America, 1880-1930», *Isis 77*, 611-629 (1986).

39. *Churchill and Roosevelt. The Complete Correspondence*, vol. 1 (*Alliance Emerging*), Warren F. Kimball, ed. (Princeton University Press, Princeton 1984), p. 249.

40. *Ibid.*, p. 279. La carta de Churchill no lleva más fecha que «diciembre».

41. Véase *Churchill and Roosevelt. The Complete Correspondence*, vol. 2 (*Aliance Forged*), Warren F. Kimball, ed. (Princeton University Press, Princeton), pp. 214, 351.

42. Para una perspectiva más amplia, consúltese James Herschberg, *James B. Conant. Harvard to Hiroshima and the Making of the Nuclear Age* (Alfred A. Knopf, Nueva York 1993), cap. 10.

43. *Churchill and Roosevelt. The Complete Correspondence*, vol. 2, *op. cit.*, p. 317.

44. Churchill se refería a él mismo con el transparente nombre en clave, *Former Naval Person*, ya que había sido Primer Lord del Almirantazgo.

45. *Churchill and Roosevelt. The Complete Correspondence*, vol. 2, *op. cit.*, p. 351.

46. Tras la guerra, y a partir de este Laboratorio Metalúrgico, la Universidad de Chicago fundó un Instituto para el estudio de los metales, dirigido por el veterano del laboratorio de armas atómicas de Los Álamos, Cyril S. Smith. Aquí vemos uno de los numerosos ejemplos posibles de las consecuencias que para el desarrollo científico de la ciencia en la posguerra tuvo el programa nuclear estadounidense. Volveré a este tema más adelante.

47. Sobre Groves, véase Robert S. Norris, *Racing for the Bomb* (Steerforth Press, South Royalton, Vermont 2002).

48. Para estudios más detallados, consúltese, por ejemplo: R. G. Hewlett y O. E. Anderson, jr., *The New World, op. cit.,* Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb* (Penguin, Londres 1988); Robert Jungk, *Brigther than a Thousand Suns* (Harcourt, Londres 1958); *Proyect Y: The Los Alamos Story*, parte I (*Towards Trinity*) a cargo de David Hawkins; parte II (*Beyond Trinity*) por Edith C. Truslow y Ralph Carlisle Smilh (American Institute of Physics, Nueva York 1983); Daniel J. Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Alfred A. Knopf, Nueva York 1978), capítulo 21; H. de Wolf Smyth, *La energía atómica al servicio de la guerra*, *op. cit*.; Lillian Hoddeson, Paul W. Henriksen, Roger A. Meade y Catherine Westfall, *Critical Assembly. A Technical History of Los Alamos During the Oppenheimer Years*, *1943-1945* (Cambridge University Press, Nueva York 1993).

49. La lista que sigue no es completa.

50. R. G. Hewlett y O. E. Anderson, jr., *The New World. A History of the United States Atomic Energy Commission*, vol. I, *op. cit.*, p. 724.

51. Este incidente se describe con detalle en L. Hoddeson, P. W. Henriksen, R. A. Meade y C. Westfall, *Critical Assembly*, *op. cit.*, cap. 12.

52. Véase Leslie R. Groves, *Now It Can Be Told* (Harper and Brothers, Nueva York 1962), cap. 19 («Choosing the target»), y Barton J. Bernstein, «Hiroshima y Nagasaki. Una reconsideración», *Política Exterior IX*, n.° 44 (abril/mayo de 1995), pp. 41-54.

53. L. R. Groves, *Now It Can Be Told, op. cit.*

54. *Ibid.*, p. 265.

55. B. J. Bernstein, «Hiroshima y Nagasaki», *op. cit.*, p. 54.

56. El informe se reproduce en M. B. Stoff, J. F. Fanton y R. Hal Williams, *The Manhattan Project. A Documentary Introduction to the Atomic Age*, *op. cit.*, pp. 140-147.

57. Glenn T. Seaborg con Benjamin S. Loeb, *Stemming the Tide. Arms Control in the Johnson Years* (Lexington Books, Lexington, Massachusetts 1987), p. 61.

58. Alan Turing, «On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem», *Proceedings of the London Mathematical Society 42*, 230-267 (1936), correciones en *ibid. 43*, 544-546 (1937). El problema de la decisión lo planteó —como indiqué en la nota 11 del capítulo 9— Hilbert en 1928: demostrar si existe un algoritmo para decidir si una proposición matemática es cierta o no.

59. Una medida de la estima que von Neumann tuvo por Turing es que en su libro *The Computer and the brain* (*El computador y el cerebro*; 1958), únicamente citaba a Turing y al pionero de la teoría de la información Claude Shannon.

60. Al término de la guerra, existían nueve «Colossus» más trabajando para los británicos. En 1948, Turing fue nombrado director adjunto del laboratorio de máquinas de computación del National Physical Laboratory. Continuó trabajando en este puesto hasta su muerte.

61. R. P. Feynman, *¿Está Ud. de broma, Sr. Feynman?* (Alianza, Madrid 1987), pp. 144-145.

62. Acerca del proyecto de implosión, véase Lillian Hoddeson, «The Los Alamos implosion program in World War II: A model for postwar American research», en *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States*, *1945-1960*, M. De Maria, M. Grilli, F. Sebastiani, eds. (World Scientific, Singapur 1989), pp. 31-41. Sobre von Neumann, consúltense Steve J. Heims, *J. von Neumann y N. Wiener* (Salvat, Barcelona 1986) y José M. Sánchez Ron, «John von Neumann y los *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica*», en John von Neumann, *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica* (CSIC, Madrid 1991) pp. XI-LIX.

63. Muchas de las cuestiones con las que von Neumann se encontró durante la guerra (dinámica de medios continuos, electrodinámica clásica, hidrodinámica, elasticidad) eran intratables mediante métodos analíticos. Sus investigaciones en hidrodinámica, por ejemplo, involucraban ecuaciones no lineales en derivadas parciales, para las que no se conocían métodos analíticos de solución.

64. Carta de Stanley Frankel a Brain Randell, publicada en Brain Randell, «On Alan Turing and the origins of digital computers», en Meltzer y Michie, eds., *Machine Inteligence 7*, y citada en Jack Copeland, «Computable numbers: a guide», en B. Jack Copeland, ed., *The Essential Turing* (Oxford University Press, Oxford 2004), pp. 5-57; p. 22.

65. Hermann H. Goldstine, *The Computer from Pascal to von Neumann* (Princeton University Press, Princeton 1972); Hermann H. Goldstine, «The role of John von Neumann in the computer field», en *Springs of Scientific Creativity*, R. Aris, H.T. Davis y R.H. Stuewer, eds., pp. 308-327 (University of Minnesota Press, Minneapolis 1983); Martin Davis, «Mathematical logic and the origin of modern computers», en *Studies in the History of Mathematics*, E. R. Phillips, ed., pp. 137-165 (The Mathematical Association of America, 1987); William Aspray, «The mathematical reception of the modern computer: John von Neumann and the Institute for Advanced Study computer», en *Studies in the History of Mathematics*, *op. cit.;* William Aspray, «The transformation of numerical analysis by the computer: an example from the work of John von Neumann», en *The History of Modern Mathematics*, vol. II, D. E. Rowe y J. McCleary, eds., (Academic Press, San Diego 1989), pp. 307-322.

66. Acerca de los «Collossus» y ENIAC, véase Robert Ligonnière, *Préhistoire et histoire des ordinateurs* (Robert Laffont, París, 1987), y Scott McCartney, *ENIAC. The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer*(Walker and Co., Nueva York 1999).

67. En este punto, véase William Aspray, «The mathematical reception of the modern computer: John von Neumann and the Institute for Advance Study computer», *op. cit.*

68. Reproducida en M. Rédei, ed., *John von Neumann: Selected Letters*, *op. cit.*, pp. 234-236.

69. Daniel Kevles, «Cold war and hot physics: science, security, and the American state, 1945-1956», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 20*, 239-264 (1990), p. 239.

70. Ivan A. Getting, «Radar», en Carl F. J. Overhage, ed., *The Age of Electronics* (McGraw-Hill, Nueva York 1962), pp. 53-92; pp. 53-54.

71. La mejor historia del radar durante la guerra es, probablemente, Henry E. Guerlac, *Radar in World War II* (American Institute of Physics, Nueva York 1987). Esta obra incluye una esclarecedora introducción debida a John S. Ridgen e I. I. Rabi (pp. XIX-XXV). Consúltese, asimismo, Louis Brown, *A Radar History of World War II. Technical and Military Imperatives* (Institute of Physics Publishing, Bristol 1999), y John S. Ridgen, *Rabi. Scientist and Citizen* (Basic Books, Nueva York 1987), cap. 12, y D. J. Kevles, *The Physicists*, *op. cit.*, cap. 20.

72. Loomis era un banquero retirado, primo del secretario de Guerra, que se había especializado en el estudio de las microondas en su laboratorio privado.

73. Hay que tener en cuenta que un sistema de radar se compone, básicamente, de tres partes: (I) una fuente de ondas; (II) un detector de ondas y (III) medios para llevar las ondas de la fuente al objetivo, y de vuelta al detector. El magnetrón británico resolvía, en el mejor de los casos, el punto (I), aplicado al rango de las microondas, pero todavía quedaban (II) y (III).

74. La colaboración con los británicos se mantuvo durante toda la guerra.

75. Después de la guerra, DuBridge, con el prestigio de haber llevado a buen puerto el proyecto radar, fue elegido para presidir el California Institute of Technology.

76. Una de las características del Radiation Laboratory fue la predominancia de físicos, especialmente en los primeros tiempos (al final su número era de unos quinientos). Entre los que trabajaron allí, algunos repartiendo su tiempo con Los Álamos, figuran I. I. Rabi, P. M. Morse, J. Slater, L. Alvarez, E. Purcell, N. F. Ramsey, E. McMillan, H. Bethe, R. Bacher, K. Bainbridge, E. Pollar, J. Schwinger, R. Dicke y J. Zacharias.

77. El que los submarinos tuviesen que emerger de vez en cuando para renovar su aire era lo que daba una oportunidad al radar.

78. *Rad Lab: Oral Histories Documenting World War II Activities at the MIT Radiation Laboratory* (Center for the History of Electrical Engineering, Piscataway, New Jersey 1993), pp. 253-271; p. 270.

79. Volverían a ser utilizados poco antes de la guerra, y ayudaron en el desarrollo del transistor.

80. A. Wilson, «The theory of electronic semiconductors», *Proceedings Royal Society of London A 133*, 458-491 (1931); «Solid state physics 1925-1933: opportunities missed and opportunities seized», *Proceedings Royal Society of London A 371*, 39-48 (1930), p. 47.

81. Paul W. Henriksen, «Solid state physics research at Purdue», *Osiris 3*, 237-260 (1987); *A History of Engineering and Science in the Bell System. National Service in War and Peace (1925-1975),* M. D. Fagen ed. (Bell Telephone Laboratories, Inc. 1978), cap. 2; Michael Eckert y Helmut Schubert, *Cristales*, *electrones*, *transistores* (Alianza, Madrid 1991; edición original en alemán de 1986), pp. 235 y ss.

82. Lillian Hoddeson, «The discovery of the point-contact transistor», *Historical Studies in the Physical Sciences 12*, 41-76 (1981), p. 45.

83. Otras firmas que participaron activamente en los trabajos del radar durante la guerra fueron: Westinghouse, General Electric, Sylvania Electric Products y Du Pont. En Gran Bretaña tomaron parte: General Electric, British Thompson-Houston y Telecomunications Research Establishment.

84. Citado en L. Hoddeson, «The discovery of the point-contact transistor», *op. cit.*, p. 52.

85. 1 de julio de 1984; citado en M. Eckert y H. Schubert, *Cristales, electrones y transistores*, *op. cit.*, pp. 274-275. Para detalles acerca del proceso que llevó al descubrimiento del transistor, consúltense, además del capítulo 5 de la anterior referencia, Ernest Braun y Stuart Macdonald, *Revolution in Miniature. The History of Semiconductor Electronics* (Cambridge University Press, Cambridge 1982); L. Hoddeson, «The discovery of the point-contact transistor», *op.* cit.; Richard R. Nelson, «The link between science and invention: the case of the transistor», en *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (Princeton University Press, Princeton 1962), pp. 549-583.

86. *A History of Engineering and Science in the Bell System. National Service in War and Peace (1925-1975)*, *op. cit.*, p. 621.

87. Thomas J. Misa, «Military needs, commercial realities, and the development of the transistor, 1948-1958», en *Military Enterprise and Technological Change*, Merrit Roe Smith, ed. (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1987), pp. 253-287; p. 273. En ese período, Bell se gastó 12,5 millones de sus propios fondos en investigación física, química y metalúrgica en áreas relacionadas con los semiconductores.

88. *Rad Lab: Oral Histories Documenting World War II Activities at the MIT Radiation Laboratory*, *op. cit.*, pp. 319-330; p. 327. Saad había estudiado ingeniería eléctrica en el MIT, especializándose en comunicaciones. Empleado por Sylvania Electric Products, cuando Estados Unidos entró en la guerra fue contratado (enero de 1942) por Radiation Laboratory.

89. Más información que la ofrezo aquí sobre el MIT se encuentra en Stuart W. Leslie, *The Cold War and American Science. The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford* (Columbia University Press, Nueva York 1993).

90. Henry Etzokowitz, «The marking of an entrepreneurial University: the traffic among MIT, industry, and the military, 1860-1960», en *Science*, *Technology and the Military*, E. Mendelshon, M. R. Smith y P. Weingart, eds. (Kluwer, Dordrecht 1988), vol. 2, pp. 515-540; p. 532.

91. John C. Slater, *Solid-state and Molecular Theory. A Scientific Biography* (John Wiley, Nueva York 1975), pp. 222-223.

92. Algunos de estos puntos se desarrollan en R. M. Abrams, «The U.S. military and higher education: A brief history», *The Annals of the American Academy of Political and Social Science 502*, 15-28 (marzo de 1989), artículo que forma parte de un número monográfico dedicado a «Universities and the military».

93. J. C. Slater, *Solid-state and Molecular Theory*, *op. cit.*, p. 217.

94. H. H. Arnold, *Global Mission* (Harper, Nueva York 1949).

95. Theodore von Kármán (con Lee Edson), *The Wind and Beyond* (Little, Brown and Co., Boston 1967), pp. 225 y ss. y 289, 291-294.

96. Una copia del memorándum, al igual que de la respuesta e informes de von Kármán, que utilizaré más adelante, se encuentran localizados en la caja 175.4 de la «Th. von Kármán Collection», depositada en la Robert A. Millikan Library, California Institute of Technology Archives. Para una descripción de la colección, véase *The Theodore von Kármán Collection at the California Institute of Technology*, Judith R. Goodstein y Carolyn Kopp, eds. (Institute Archives, Robert A. Millikan Memorial Library, Pasadena 1981). Agradezco a Bonnie Ludt, documentalista de los Archivos de Caltech, el que me facilitase una copia de estos documentos.

97. Yo he utilizado, como indiqué en la nota anterior, una copia depositada en la «Th. von Kármán Collection». Posteriormente, sin embargo, descubrí en la biblioteca del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), en el campus de Torrejón, un ejemplar de este documento traducido al español por Antonio Pérez-Marín. Se trata de una edición limitada (la que consulté llevaba el número 6), en ciclostil, de 166 páginas, publicada en 1959 bajo el encabezamiento «Traducción del Informe del año 1945 al General H. H. Arnold». «Hacia Nuevos Horizontes». «Ciencia, llave de la supremacía aérea», por Teodoro von Kármán. Como indiqué en el capítulo anterior, desde 1947 von Kármán mantenía relaciones con el INTA, al que ayudó bastante en la difícil tarea que en aquellos años representaba para los españoles establecer relaciones de cooperación con militares y técnicos aeronáuticos de naciones que habían luchado contra (y vencido a) los alemanes. En el Acta de la reunión del Patronato del INTA celebrada el 14 de abril de 1959 se lee: «Traducción del Informe del General Arnold "Hacia nuevos horizontes": el Sr. Director da cuenta de que al regreso del Coronel Pérez-Marín de Estados Unidos trajo una información muy interesante sobre la organización de las Fuerzas Aéreas, recogida en el informe del General Arnold, que hasta ahora ha tenido el carácter de secreto, calificación que acaba de ser levantada, habiéndose traducido en el Instituto con carácter de Reservado, poniéndolo a disposición de los Sres. Consejeros, ya que no se le ha dado publicidad». Véase, José M. Sánchez Ron, *INTA. 50 años de ciencia y técnica aeroespacial* (Ministerio de Defensa / Doce Calles / INTA, Madrid 1997), p. 153.

98. Reproducida en Vannevar Bush, *Science, the Endless Frontier. Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research* (United States Government Printing Office, Washington 1945), pp. VII-VIII.

99. *Ibid.*, pp. 10-11.

100. *Ibid.*, p. 13.

101. *Ibid.*, p. 14.

102. *Ibid.*, pp. 14-15.

103. Wolfgang Pauli, uno de los pocos físicos de primer nivel residentes en Estados Unidos que permaneció al margen del esfuerzo bélico, se dio cuenta perfectamente del riesgo que la oferta militar implicaba para las nuevas generaciones de científicos. En una carta que escribió a Einstein el 19 de septiembre de 1946, Pauli señalaba el gran peligro de una intromisión de los militares en la física. «Por intromisión yo no sólo entiendo la censura sino también una influencia en la orientación de los trabajos experimentales. Es fácil captar a la gente joven prometiéndoles buenas plazas y buenas expectativas de una carrera brillante.» Reproducida en Wolfgang Pauli, *Wissenschatlicher Briefwechsel mit Bohr*, *Einstein*, *Heisenberg u.a.*, vol. III, Karl von Meyenn, ed. (Springer-Verlag, Berlín 1993), pp. 383-384; citada en Karl von Meyenn, «La responsabilidad del científico a la luz del descubrimiento de la fisión nuclear: El caso de Einstein, Pauli y Bohr», en *Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, M. Valera y C. Fernández, eds. (Promociones y Publicaciones Universitarias, Murcia 1991), pp. 55-87; p. 68.

104. Véase Gary Werskey, *The Visible College. A Collective Biography of British Scientists and Socialists of the 1930s* (Allen Lane, Londres 1978). En los años treinta, y aunque desprovisto en general de la ideología socialista del caso británico, también se planteó en Estados Unidos un debate de índole social (considerando, por ejemplo, la responsabilidad social de los científicos); Peter J. Kuznick, *Beyond the Laboratory. Scientists as Political Activists in 1930s America* (The University of Chicago Press, Chicago 1987).

105. «Th. Von Kármán Collection», caja 8.12.

106. J. Robert Oppenheimer, «Physics in the contemporary world», *Bulletin of Atomic Scientists 4*, 66 (marzo de 1948).

107. Citado en Barton J. Bernstein, «Four physicists and the bomb: the early years, 1945-1950», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 18*, 231-263 (1988); p. 263.

108. Chadwick a Bohr, 25 de enero de 1943, reproducida en *Niels Bohr Collected Works*, vol. 11 (*The Political Arena*, *1934-1961*), Finn Aaserud, ed. (Elsevier, Amsterdam 2005), pp. 227-228.

109. Sobre estas actividades de Bohr, véase Finn Aaserud, «The scientist and the statesmen: Niels Bohr's political crusade during World War II», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 30*, 1-47 (1999).

110. *Niels Bohr Collected Works*, vol. 11 (*The Political Arena, 1934-1961*), *op. cit.*, p. 260.

111. Reproducido en *Niels Bohr Collected Works*, vol. 11 (*The Political Arena, 1934-1961*), *op. cit.*, pp. 123-124.

112. Niels Bohr, *Open Letter to the United Nations* (J. H. Schultz Forlad, Copenhague 1950); reproducida en *Niels Bohr Collected Works*, vol. 11 (*The Political Arena*, *1934-1961*), *op. cit.*, pp. 173-185, y en *Niels Bohr. His Life and Work as Seen by His Friends and Colleagues*, S. Rozental (North-Holland, Amsterdam 1967), pp. 340-352.

113. Alexei B. Kojevnikov, *Stalin's Great Science* (Imperial College Press, Londres 2004), p. 8.

114. Es preciso, no obstante, señalar que el nuevo sistema político no despreció a la universidad: mientras que se crearon solamente 10 universidades durante los ciento cincuenta años precedentes de la monarquía, no menos de 24 nuevas fueron establecidas en los cuatro años de la revolución y de la guerra civil, aunque es cierto que no todas sobrevivieron.

115. Modest Rubinstein, «Relations of science, technology, and economics under capitalism and in the Soviet Union», en *Science at the Cross Roads. Papers Presented to the International Congress of the History of Science and Technology Held in London from June 29th to July 3rd, 1931* (Frank Cass, Londres 1971), pp. 41-66; p. 54.

116. *Ibid.*, p. 56.

117. Donald Rayfield, *Stalin y los verdugos* (Taurus, Madrid 2003; versión original en inglés de 2002), pp. 418-420.

118. Véase Loren R. Graham, *Science in Russia and the Soviet Union. A Short History* (Cambridge University Press, Cambridge 1993), pp. 215-217.

119. *Kapitza in Cambridge and Moscu*, J. W. Boag, P. E. Rubinin y D. Shoenberg, eds. (North-Holland, Amsterdam 1990), p. 348. Véase, asimismo, Aleksei Kozhevnikov, «Piotr Kapitza and Stalin's government: a study in moral choice», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 22*, 131-164 (1991).

120. *Ibid.*, p. 349.

121. Citada en Zhores A. Medvedev y Roy A. Medvedev, *El Stalin desconocido* (Crítica, Barcelona 2005; edición original en inglés de 2003), p. 221.

122. *Ibid.*

123. Kojevnikov, *Stalin's Great Science*, *op. cit.*, pp. 207-214.

124. David Hollaway, «Entering the nuclear arms race: the Soviet decision to build the atomic bomb, 1939-1945», *Social Studies of Science 11*, 159-197 (1981) y *Stalin and the Bomb* (Yale University Press, New Haven 1994). En esta sección seguiré muy de cerca estas referencias. Véanse también Arnold Kramish, *Atomic Energy in the Soviet Union* (Oxford University Press, Londres 1960), y Ulrich Albrecht, «The development of the first atomic bomb in the USSR», en *Science, Technology and the Military*, E. Mendelshon, M. R. Smith y P. Weingart, eds., vol. II, *op. cit.,* pp. 349-378.

125. Paul R. Josephson, «Physics and Soviet-Western relations in the 1920s and 1930s», *Physics Today* (septiembre de 1988); reproducido en *Physics and Nuclear Arms Today*, D. Hafemeister, ed., *op. cit.*, pp. 252-259.

126. Citado en D. Holloway, «Entering the nuclear arms race», *op. cit.*, p. 169.

127. Estos y los datos que siguen, se exponen en D. Hollaway, *Stalin and the Bomb*, *op. cit.*

128. Sobre Kurchatov, véase I. N. Golovín, *Igor Kurchatov* (Mir, Moscú 1981).

129. Es interesante señalar en este punto que al igual que Estados Unidos se cuidó mucho de no perder tiempo para intentar capturar al mayor número posible de físicos nucleares alemanes (recordemos la misión «Alsos»), la Unión Soviética, alerta también del valor de estos científicos, hizo lo propio. No tuvo tanto éxito como sus entonces aliados y futuros enemigos de la Guerra Fría, pero de todas maneras pudo aumentar su potencial nuclear humano con algunas valiosas adiciones: el barón Manfred von Ardenne, que tenía un laboratorio privado en Berlín y que había trabajado en la separación electromagnética de isótopos (su laboratorio fue desmantelado y transportado a la Unión Soviética); Gustav Hertz, que había recibido el premio Nobel de Física en 1925 por desarrollar procesos de separación de isótopos mediante difusión gaseosa, y Peter-Adolf Thiessen, del Instituto de Química-Física Kaiser-Wilhelm de Dahlem, que había sido uno de los que llamó la atención de Goring, en 1941, acerca de la posibilidad de fabricar una bomba atómica. Von Ardenne y Hertz tendrían sus propios institutos cerca de Sukhumi, en el mar Negro. No se trata sólo de que las misiones de los distintos países tuviesen más o menos éxito en sus pesquisas, sino que, cuando el final se acercaba, la mayoría de los propios científicos conscientemente se dirigieron hacia el oeste, tratando de evitar ser capturados por el Ejército Rojo. Algunos de los que terminaron pasando a engrosar el proyecto atómico soviético tomaron la decisión de no buscar a los ejércitos americano o británico por diversos motivos: ideológicos, o, simplemente, ir a parar a un sitio en donde la competencia científica sería menor. No parece, sin embargo, que estos institutos fuesen decisivos para el desarrollo del programa nuclear soviético. En sus memorias Andrei Sajarov (*Memorias* [Plaza & Janes/Cambio 16, Barcelona 1991], pp. 144-145) se refirió a este punto de la manera siguiente: «[Dmitri] Zubarev acabó trabajando cerca del mar Negro con científicos que habían traído de Alemania. El director del proyecto, Avraami Zavenyagin, había puesto muchas esperanzas en los científicos alemanes, pero nadie se fiaba de ellos y el trabajo realizado no era nada serio. Zubarev se aburrió e hizo uso de sus conexiones con Nicolai Bogoliubov para que le trasladasen».

130. D. Holloway, *Stalin and the Bomb*, *op. cit.*, p. 132.

131. Simon Sebag Montefiore, *La corte del zar rojo* (Crítica, Barcelona 2004; versión original en inglés de 2003), pp. 535-536.

132. Los ejemplos son numerosos: cuando B. G. Dubowski, encargado de la seguridad radiactiva, quiso disponer de contadores Geiger para medir los peligrosos rayos X, tuvo que construirselos él mismo.

133. La principal reacción de fusión que tiene lugar en la bomba de hidrógeno es la siguiente (H^3 = deuterio; H^3 = tritio; He^4 = núcleo de helio-partícula alfa; n = neutrón):

$$H^3 + H^2 \rightarrow He^4 + n^1 + 17{,}6 \text{ MeV}$$

La energía de fusión de 1 kilogramo de deuterio es suficiente para elevar 600 barcos de 50.000 toneladas cada uno, a 1 kilómetro de altura.

134. En un seminario sobre la teoría de la bomba atómica, celebrado en julio de 1942, Teller aventuró la posibilidad de que se pudiera utilizar una bomba de fisión como detonante de otra de fusión. En 1944 defendía la idea de que sería posible fabricar una bomba de implosión que utilizase deuterio y tritio como combustible. Sobre Teller y la bomba de hidrógeno, véase su autobiografía, Edward Teller (con Judith Shoolery), *Memoirs. A Twentieth-Century Journey in Science and Politics* (Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts 2001), así como Stanley A. Blumberg y Louis G. Panos, *Edward Teller. Giant of the Golden Age of Physics* (Charles Scribner's Sons, Nueva York 1990), caps. 14 y 15. Acerca del desarrollo de la superbomba, Peter Galison y Barton Bernstein, «In any light: scientists and the decision to build the Superbomb, 1952-1954», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 19*, 267-347 (1989).

135. A. Sajarov, *Memorias*, *op. cit.*, pp. 146 y ss.

136. Edward Teller, «Back to the laboratories», *Bulletin of the Atomic Scientists 6*, 71-72 (1950).

137. Análogamente, Luis Alvarez decía en junio de 1951: «Cualquiera que dedique su tiempo a trabajar sobre mesones es poco menos que un traidor»; citado en Gregg Herken, *Brotherhood of the Bomb. The Tangled Lives and Loyalties of Robert Oppenheimer, Ernest Lawrence, and Edward Teller* (Henry Holt and Co., Nueva York 2002), p. 233.

138. Citado en P. Galison y B. Bernstein, «In any light: scientists and the decision to built the superbomb», *op. cit.*, pp. 305-306.

139. Richard G. Hewlett y Francis Duncan, *Atomic Shield. A History of the United States Atomic Energy Commission*, vol. II («1947-1952») (University of California Press, Berkeley 1990), pp. 676-677. El que aparezcan entradas diferentes en distintos años se debe a cambios en el sistema de administración de la Atomic Energy Commission.

140. A. Sajarov, *Memorias*, *op. cit.*, pp. 148-151.

141. Citado en G. Herken, *Brotherhood of the Bomb. The Tangled Lives and Loyalties of Robert Oppenheimer, Ernest Lawrence, and Edward Teller*, *op. cit.*, p. 141. Este libro es probablemente la mejor referencia sobre Oppenheimer y sus problemas con la seguridad estadounidense. Sobre Oppenheimer, véase también Cathryn Carson y David A. Hollinger, eds., *Reappraising Oppenheimer. Centennian Studies and Reflections* (Office for History of Science and Technology, University of California, Berkeley 2005).

142. Citado en G. Herken, *Brotherhood of the Bomb. The Tangled Lives and Loyalties of Robert Oppenheimer, Ernest Lawrence, and Edward Teller*, *op. cit.*, p. 219.

143. Reproducida, al igual que las transcripciones de todas las declaraciones en el juicio, en *In the Matter of J. Robert Oppenheimer. Transcript of Hearings Before Personnel Security Board. Washington, D. C. April 12, 1954, through May 6, 1954* (United States Atomic Energy Comisión), reeditado en *In the Matter of J. Robert Oppenheimer. Transcript of Hearings Before Personnel Security Board and Texts of Principal Documents and Letters* (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1971), p. 1011. Sobre el juicio a Oppenheimer, véase Barton Bernstein, «In the matter of J. Robert Oppenheimer», *Historical Studies in the Physical Sciences 12*, 195-252 (1982).

144. No resisto la tentación de citar un pasaje de un artículo que Bethe (1906-2005) publicó en la popular revista *Scientific American* (1950) defendiendo su posición en contra del desarrollo de la bomba de hidrógeno, ya que en él Bethe ponía como ejemplo a España, y sus argumentos nos dicen algo acerca de las posibilidades de España entonces en el mundo nuclear: «difícilmente podemos esperar poseer un monopolio sobre las bombas atómicas. Si tuvimos alguna vez esperanzas de este tipo, los acontecimientos de los últimos meses deberían haberlas hecho desaparecer. La U.R.S.S. tiene la bomba atómica. Sin duda, en sus esfuerzos se ha visto ayudada por la información secreta que recibió de Klaus Fuchs, que presumiblemente incluía muchos de los "secretos" vitales de nuestro proyecto. Pero saber cómo un grupo de científicos fabricó la bomba no es suficiente para que una nación construya una. Si Fuchs hubiese suministrado su información a España, por ejemplo, difícilmente la habría comprendido; probablemente no habría utilizado tal información, e incluso si la hubiese empleado, casi con seguridad no habría tenido éxito. El primer requisito para realizar un trabajo todavía es un grupo de científicos altamente capaces, un país determinado a fabricar el arma, y un gran esfuerzo industrial. Sabemos, si es que alguna vez lo dudamos, que la U.R.S.S. tiene todo esto. Para los científicos soviéticos, la información simplemente debe haberles resuelto muchas dudas sobre qué pasos dar a continuación, y evitado un cierto número de desarrollos paralelos costosos e inútiles». Con esta base, Bethe argumentaba que «nuestra decisión de fabricar una bomba de hidrógeno, que demuestra que consideramos el proyecto factible, muy bien puede haberles incitado a tomar la misma decisión». Hans A. Bethe, «The hydrogen bomb», *Scientific American* (abril de 1950), pp. 18-23; reproducido en Hans A. Bethe, *The Road from Los Alamos* (The American Institute of Physics, Nueva York 1991), pp. 12-22; p. 19.

145. En su autobiografía, Yukawa recordó la deuda que tenía con las enseñanzas de Nishima. Véase Hideki Yukawa, *Tabibito (The Traveler)* (World Scientific, Singapur 1982), cap. 11.

146. Véase R. W. Home y Morris F. Low, «Postwar scientific intelligence missions to Japan», *Isis 84*, 527-537 (1993).

147. Esta historia se reconstruye en Hideo Yoshikawa y Joanne Kauffman, *Science has no National Borders. Harry C. Kelly and the Reconstruction of Science in Postwar Japan* (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1994); Don Won Kim, «Yoshio Nishina and two cyclotrons», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 36*, 243-273 (2006); Keiko Nagase-Reimer, Walter E. Grunden y Masakatsu Yamazaki, «Nuclear weapons research in Japan during the Second World War», *Historia scientiarumm 14*, 201-240 (2005), y Morris F. Low, «Accelerators and politics in postwar Japan», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 36*, 275-296 (2006).

148. «Cyclotrons smashing: American soldiers demolish and sink precious Jap science equipment», *Life 19: 26* (24 de diciembre de 1945), pp. 26-27.

149. Para más datos acerca de este tema, véanse Robert W. Seidel, «Accelerating science: The postwar transformation of the Lawrence Radiation Laboratory», *Historical Studies in the Physical Sciences 13* (2), 375-400 (1983), y J. L. Heilbron R. W. Seidel y B. R. Wheaton, *Nuclear Science at Berkeley 1931-1961* (Office for History of Science and Technology, University of California, Berkeley 1981).

150. Véase Norman F. Ramsey, «Molecular beams, federal support of research and Brookhaven National Laboratory» en *The Restructuring of Physical Sciences in Europe and the United States*, *1945-1960*, M. De Maria, M. Grilli, and F. Sebastiani, eds., *op. cit*., pp. 257-264. Sobre la AEC, consultar, R. G. Hewlett y O. E. Anderon, jr., *The New World*, *op*. cit., G. Hewlett y F. Duncan, *Atomic Shield*, *op. cit*.

151. Norman F. Ramsey, «Early history of Associated Universities and Brookhaven National Laboratory», Brookhaven Lecture Series, n.° 55, 30 de marzo de 1966 (BNL 992, T-421). Agradezco al profesor Ramsey que me proporcionase una copia de este interesante y difícilmente accesible documento.

152. La prueba tuvo lugar el 8 de mayo de 1951 en una isla del Pacífico. En realidad, no se trataba de una bomba sino de un enorme depósito refrigerado. La isla fue borrada del mapa. La prueba siguiente *Mike* se realizó el 31 de octubre de 1952. Ni Estados Unidos ni la Unión Soviética dispusieron de bombas de hidrógeno reales hasta mediados de la década de los cincuenta.

153. Sobre la ONR, consúltese Harvey M. Sapolsky, *Science and the Navy. The History of the Office of Naval Research* (Princeton University Press, Princeton 1990).

154. En octubre de 1950, Karl Compton advertía del peligro de una agresión militar, señalando que «Estados Unidos no puede llegar a los números [de soldados] de nuestros adversarios potenciales... Nuestra principal fuente de superioridad militar reside en los desarrollos tecnológicos que multiplican la efectividad de lucha per cápita de nuestras fuerzas»; citado en D. Kevles, «Cold war and hot politics: Science, security, and the American state, 1945-1956», *op. cit.,* pp. 249-250.

155. Véanse David DeVorkin, «Organizing for space research: the V-2 rocket panel», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 18* (1), 1-24 (1987), y «Along the ride: the response of American astronomers to the possibility of space research, 1945-1950», en *The Restructuring of Physical Sciences*, *op. cit.*, pp. 55-74.

156. Sobre Townes, el máser y el láser, véase Paul Forman, «The case of Charles Townes, the maser, and the laser», folleto preparado para una exposición en el National Museum of American History (Smithsonian Institution, agosto de 1988); también «Into quantum electronics: the maser as “gadget” of Cold-War America», en *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology*, Paul Forman y José M. Sánchez Ron, eds. (Kluwer, Dordrecht 1996), pp. 261-326.

157. Especialmente en radioastronomía, campo al que el propio Townes contribuyó.

158. El caso del láser ha sido estudiado por Robert W. Seidel, «From glow to flow: A history of military laser and development», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 18* (1), 111-147 (1987) y por Joan L. Bromberg, *The Laser in America, 1950-1970* (The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1991).

159. Los datos que siguen proceden de Paul Forman, «Behind quantum electronics: National security as basis for physical research in the United States», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 18* (1), 1940-229 (1987).

160. El siguiente dato es significativo: en un informe preparado en 1951 para el Departamento de Defensa se demostraba que el 70 por 100 de todo el tiempo de investigación de los físicos de 750 universidades y colleges estaba dedicado a «investigación militar».

161. Sobre la actividad de Wiener durante la guerra, véase P. R. Masani, *Norbert Wiener*, *1894-1964* (Birkhäuser, Basilea 1990), cap. 14.

162. Alvin Weinberg, *The First Nuclear Era* (American Institute of Physics, Nueva York 1994), pp. 227-228.

163. Citado en Richard Rhodes, *Nuclear Renewal* (Whittle Books, Nueva York 1993), pp. 36-37.

164. Los problemas de la industria nuclear civil estadounidense se debieron a un conglomerado de razones, entre las que figuran graves errores en la estimación del aumento de la demanda de energía eléctrica (el embargo de petróleo de 1973 tuvo como una de sus consecuencia la de, al subir los precios, reducir el consumo); un absolutamente exagerado optimismo sobre la naturaleza de las dificultades tecnológicas a encontrar, o el cambio en la sensibilidad medioambiental del público.

165. Dwight D. Eisenhower, *The White House Years. A Personal Account. 1953-1956: Mandate for Change* (Doubleday, Nueva York 1963), p. 252.

166. *Ibid.*, p. 253.

167. *Ibid.*, pp. 254-255.

168. Los doce países eran Estados Unidos, la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia, Canadá, Bélgica, Portugal, Sudáfrica, Checoslovaquia, Brasil, India y Australia.

169. Sobre la historia de la Agencia Internacional de Energía Atómica, véase David Fischer, *History of the Atomic Energy Agency. The First Forty Years* (IAEA, Viena 1997), e *International Atomic Energy Agency. Personal Reflections* (IAEA, Viena 1997).

170. Dwight D. Eisenhower, *The White House Years. A Personal Account. 1956-1961: Waging Peace* (Doubleday, Nueva York 1965), p. 18. La magnitud del problema del *fallout* se mostró durante unas pruebas nucleares que se realizaron en Nevada en 1953, al sufrir muchos animales de la zona las consecuencias de la radiación (algunos murieron). A pesar de que los veterinarios informaron a la AEC, ésta rehusó pagar ningún tipo de indemnización. Más adelante me referiré a otro incidente, el que afectó al barco de pesca japonés *Dragón Feliz*.

171. *Ibid.*, pp. 491-492.

172. D. D. Eisenhower, *The White House Years. A Personal Account. 1953-1956: Mandate for Change*, *op. cit.*, p. 205.

173. Citado en S. S. Schweber, *In the Shadow of the Bomb* (Princeton University Press, Princeton 2000), p. 174.

174. Citado en David L. Snead, *The Gaither Committee, Eisenhower, and the Cold War* (Ohio State University Press, Columbus 1999), p. 139. Véase también, Robert A. Divine, *The Sputnik Challenge. Eisenhower's Response to the Soviet Satellite* (Oxford University Press, Nueva York 1993). Una de las medidas que se tomaron como consecuencia de las críticas del Comité Gaither fue aumentar el número de misiles balísticos intercontinentales, que en 1963 pasó de 80 a 600.

175. D. D. Eisenhower, *The White House Years. A Personal Account. 1956-1961: Waging Peace*, *op. cit.*, p. 260.

176. El discurso de Eisenhower se reproduce en Seymour Melman, *El capitalismo del Pentágono* (Siglo XXI, México 1972, edición original en inglés de 1970), pp. 238-334; pp. 331-332.

177. Véanse, D. Kevles, «R&D and the arms race: an analytical look», en *Science, Technology and the Military*, *op. cit.*, pp. 465-480 y P. Forman, «Behind quantum electronics», *op. cit.*

178. Véase Z. Griliches y F. Lichtenberg, «R&D and productivity at the industry level: is there still a relationship?», en *R&D, Patents and Productivity*, Z. Griliches, ed., (The University of Chicago Press, Chicago 1984), pp. 465-496.

179. Estas cifras proceden del Foreign Policy Institute de la Universidad Johns Hopkins. Una crítica, en mi opinión devastadora, de la Iniciativa de Defensa Estratégica se encuentra en Frank R. Lichtenberg, «The impact of the Strategic Defense Iniciative on US civilian R&D investment and industrial competitiveness», *Social Studies of Science 19*, 265-282 (1989).

180. Esta sección, al igual que las dos siguientes, siguen de cerca otras de José M. Sánchez Ron, *El Siglo de la Ciencia* (Taurus, Madrid 2000).

181. J. S. Ridgen, *Rabi, Scientist and Citizen*, *op. cit.*, p. 236.

182. En 1967, España decidió —por razones, entre otras, de presupuesto— abandonar el CERN, salida que se hizo efectiva en 1968. En 1982, ya bajo otro régimen político, se reintegró a él. Véase, en este sentido, Ana Romero de Pablos y José M. Sánchez Ron, *Energía nuclear en España. De la JEN al CIEMAT* (Ministerio de Ciencia y Tecnología/CIEMAT, Madrid 2001), pp. 203-230.

183. Sobre la creación del CERN, véase A. Hermann, J. Krige, U. Mersits y D. Pestre, *History of CERN*, vol. 1 (*Launching the European Organization for Nuclear Research*), vol. II (*Building and Running the Laboratory, 1954-1965*) (North-Holland, Amsterdam 1987, 1990).

184. Otros ejemplos, posteriores al CERN, de colaboración europea, que no trato aquí (o prácticamente nada), son la European Atomic Energy Community (EURATOM), creada en 1957 por Bélgica, Francia, Holanda, Italia, Luxemburgo y la República Federal Alemana; la European Research Organization (ESRO; a partir de 1975, European Space Agency, ESA), establecida en 1962 con España como uno de los países fundadores; el European Molecular Biology Laboratory (EMBL, 1973); y el Joint European Torus (JET, 1977).

185. Citado en Bebo White, «The World Wide Web and hight-energy physics», *Physics Today 51* (noviembre de 1998), pp. 30-36; p. 30.

186. Tim Berners-Lee, *Tejiendo la red* (Siglo XXI, Madrid 2000), pp. 17-18.

187. Tim Berners-Lee, «Information management: a proposal», *http://www.w3.org/History/1989/proposal.html* (marzo; versión revisada en mayo de 2000); reproducida en T. Berners-Lee, *Tejiendo la red*, *op. cit.*

188. Citado en Silvan S. Schweber, «Some reflections on big science and high energy physics in the United States», *Rivista di Storia della Scienza 2*, 127-189 (1994), p. 151.

189. Steven Weinberg, *El sueño de una teoría final* (Crítica, Barcelona 1994; edición original en inglés de 1992), pp. 220-221.

190. *Ibid.*, pp. 222-223.

191. Un análisis particularmente lúcido, que yo sigo aquí, es el de Daniel Kevles, «Big science and big politics in the United States: reflections on the death of the SSC and the life of the Human Genome Project», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 27*, 269-297 (1997).

192. Citado por Kevles, «Big science and big politics in the United States: reflections on the death of the SSC and the life of the Human Genome Project», *op. cit.*, p. 285.

193. Para un tratamiento más completo, véase A. Romero de Pablos y J. M. Sánchez Ron, *Energía nuclear en España. De la JEN al CIEMAT*, *op. cit.*

194. Louis Galambos y Daun Van Ee, eds., *The Papers of Dwight David Eisenhower*, vol. XIV (*The Presidency: The Middle Way*) (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1996).

195. «Defense Agreement Between United States of America and Spain», en *U.S. Treaties and Other International Agreements*, vol. 4, parte 2 (Government Printing Office, Washington D. C. 1955), pp. 1876-1894, 1896-1902.

1. Se puede considerar al transistor como la «célula» que forma los «tejidos» de la sociedad que hizo posible. En 2014 se estimaba que el número de transistores existentes en el mundo debía rondar los 1021.

2. El teléfono y la radio aparecieron mencionados muy brevemente en los capítulos 2 (la radio) y 8 (el teléfono, con una mera mención).

3. James Clerk Maxwell, «The telephone», *Nature 18*, 159-163 (1878), reproducido en *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, W. D. Niven, ed. (Cambridge University Press, Cambridge, 1890), vol. 2, pp. 742-755; p. 742.

4. Lo que sigue en esta sección procede de José Manuel Sánchez Ron, *Pequeña historia de las telecomunicaciones* (Lunwerg/Fundación Telefónica, Madrid 2012).

5. «Edison's autobiographical notes», en *The Papers of Thomas A. Edison*, Reese V. Jenkins, ed., vol. 1 (Johns Hopkins University Press, Baltimore 1989), pp. 627-666.

6. Reproducida en «The Thomas A. Edison Papers Digital Edition».

7. Para más información sobre los orígenes de la radio, ver Hugh Aitken, *Syntony and Spark. The Origins of Radio* (Princeton University Press, Princeton 1985).

8. A mediados de 1907 consiguió una transmisión inalámbrica de voz a una distancia de 290 kilómetros.

9. Las aportaciones de Fessenden y sus relaciones con Edison y Marconi se tratan en Marc Raboy, *Marconi. The Man Who Networked the World* (Oxford University Press, Oxford 2016), cap. 13 («A life in litigation»).

10. En 1880, durante sus investigaciones relacionadas con el alargamiento de la vida de las bombillas incandescentes de luz eléctrica, Edison descubrió que existía un flujo, una pequeña corriente por el espacio vacío entre el filamento caliente y un trozo de alambre colocado en el interior de la bombilla. Basándose en este hallazgo, en 1904 Fleming inventó y patentó un sencillo dispositivo de rectificación, al que denominó, *oscillation valve* («válvula oscilatoria»), y que también se llamó «válvula termoiónica», «válvula de Fleming» o «kenotrón», aunque terminaría imponiéndose el término «diodo». Para ello, calentó mediante una corriente eléctrica un cátodo situado en el interior de una bombilla de cristal (en la que había hecho el vacío), de modo que emitiera electrones. Estos electrones eran atraídos hacia un pequeño ánodo cilíndrico que rodeaba al cátodo y que se mantenía con voltaje positivo. Fleming se dio cuenta de que este dispositivo se podía utilizar en la telegrafía sin hilos: su diodo haría pasar una corriente eléctrica en un único sentido, ya que, al ser de carga negativa, los electrones pueden viajar de un cátodo negativo a un ánodo positivo, pero no en el sentido contrario. En otras palabras, el diodo funcionaba rectificando las corrientes de oscilación inducidas en las antenas por las ondas hertzianas, convirtiéndolas así en corrientes continuas. No obstante el carácter implícitamente revolucionario del invento de Fleming, al principio no tuvo un gran impacto ya que las válvulas eran caras de fabricar, además pronto (1906) fue superado por una nueva válvula desarrollada por Lee De Forest, que trabajaba entonces para Western Electric. Lo que hizo De Forest fue introducir en la válvula de Fleming un tercer elemento entre el ánodo y el cátodo, un hilo de platino en forma de zigzag (una rejilla), separando de esta manera el circuito de alta frecuencia del filamento, y haciendo posible de esta forma la amplificación. Más información en John Ambrose Fleming, *Cincuenta años de electricidad. Memorias de un ingeniero eléctrico*, Antonio Colino López y José Manuel Sánchez Ron, eds. (Crítica, Barcelona 2007; edición original en inglés de 1921), pp. 471-476.

11. M. Raboy, *Marconi*, *op. cit.*, pp. 260-261.

12. Alan Turing, «Lecture on the Automatic Computer Engine», en *The Essential Turing*, B. Jack Copeland, ed. (Clarendon Press, Oxford 2004), pp. 378-394; cita en p. 378. Además de los artículos de Turing, este libro incluye comentarios muy valiosos de Copeland.

13. Aunque fue recibido en la redacción de *Proceedings of the London Mathematical Society* el 28 de mayo de 1936, y leído el 12 de noviembre, se publicó en 1937; éste es el motivo por el que a veces se dice que se publicó en 1936.

14. Además de la influencia que pudieron ejercer en Shannon los trabajos de Turing, ambos coincidieron durante el viaje que éste realizó a Estados Unidos entre noviembre de 1942 y marzo de 1943 dentro de las relaciones que científicos del Reino Unido y Estados Unidos mantenían durante la Segunda Guerra Mundial. Independientemente de que no pudieran tratar directamente de los trabajos secretos que llevaban a cabo en el campo de la criptografía (descifrar códigos secretos empleados por los alemanes), este interés les unía. Como es bien sabido, Turing fue clave en el supersecreto programa británico, ubicado en Bletchley Park, para descifrar los códigos germanos que se empleaban en la máquina *Enigma*. Por su parte, en 1945 Shannon escribió un informe (etiquetado «Confidencial») titulado «A mathematical theory of cryptography» que terminó siendo desclasificado en 1949 cuando apareció publicado en *The Bell System Technical Journal* bajo el título «Communication theory of secrecy systems». Una muestra de que existieron efectivamente intercambios entre ambos aparece en la conferencia antes citada («Lecture on the Automatic Computer Engine», *op. cit.*, p. 393), en la que Turing decía, refiriéndose a «máquinas inteligentes»: «De hecho, Shannon, de los laboratorios de la Bell Telephone, me dice que él ha ganado partidas siguiendo al jugar la regla de oro: pero no se dice nada de la habilidad de los oponentes».

15. En la tesis doctoral que presentó el mismo año (*An Algebra for Theoretical Genetics*, MIT 1940), Shannon desarrolló un álgebra adecuada para emplear en la dinámica de poblaciones mendelianas.

16. Claude E. Shannon, «A mathematical theory of communication», *Bell Technical Journal 27*, 379-423, 623-656. Para facilitar la lectura de este exigente artículo, el matemático y director para ciencia durante muchos años de la Fundación Rockefeller, Warren Weaver (1894-1978), preparó una exposición algo más general, que se publicó junto al artículo de Shannon en un libro: Claude E. Shannon y Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (The University of Illinois Press, Urbana 1964). En su autobiografía Weaver explicó cómo llegó a preparar este trabajo: «Un día, en la comida, [Chester Barnard, presidente de la Fundación Rockefeller] me preguntó si había leído en el *Bell System Technical Journal* un artículo de Claude E. Shannon sobre la teoría matemática de la comunicación. Lo había leído. ¿Comprendía yo el artículo? Sin darme cuenta del riesgo que asumía, respondí que sí. ¿Podría explicar estas ideas en términos matemáticos menos formidables? De nuevo, sí. "De acuerdo", me dijo, "hágalo". Éste fue el origen del esfuerzo que condujo a la publicación de un pequeño libro que, sorprendentemente, después de varias temporadas en tapa dura todavía hoy, dieciocho años después, se vende constantemente en rústica, anunciándose como un "clásico"»; Warren Weaver, *Scene of Change. A Lifetime in American Science* Charles Scribner's Sons, Nueva York 1970), p. 111. Sobre Boole y Shannon, véase Paul J. Nahin, *The Logician and the Engineer* (Princeton University Press, Princeton 2013).

17. El *bit* es una unidad de medida de información consistente en la cantidad transmitida o almacenada (por un dispositivo electrónico, como, por ejemplo, un computador) por la selección de una entre dos señales posibles. Es la información generada cuando, entre dos signos equiparables, se elige uno (encendido – apagado; si – no). Más literariamente, Nicholas Negroponte (n. 1943), uno de los primeros gurús del mundo digital, definió esta unidad de información como: «Un bit no tiene color, tamaño ni peso y viaja a la velocidad de la luz. Es el elemento más pequeño en el ADN de la información. Es un estado de ser: activo o inactivo, verdadero o falso, arriba o abajo, dentro o fuera, negro o blanco. Por razones prácticas consideramos que un bit es un 1 o un 0». Nicholas Negroponte, *El mundo digital* (Ediciones B, Barcelona 1995).

18. Para los trabajos de Wiener, véase Pesi R. Masani, *Norbert Wiener, 1894-1964* (Birkhäuser, Basilea 1990).

19. Norbert Wiener, «My connection with cybernetics: its origins and its future», *Cybernetica 1*, 1-14 (1958). Reproducido en *Norbert Wiener: Collected Works*, vol. IV («Cybernetics, Science and Society: Ethics. Aesthetics, and Literary Criticism; Book Reviews and Obituaries»), P. Masani, ed. (The MIT Press, Cambridge, Mass. 1985), pp. 107-120; cita en pp. 115-116. En un artículo que publicó en 1949, Wiener ofrecía un resumen de la parte del artículo de Shannon relacionada con sus ideas: «A new concept of communication engineering», *Electronics 22*, 74-77 (1949); reproducido en *Norbert Wiener: Collected Works*, vol. IV, *op. cit.*, pp. 197-201. Una Buena introducción a la vida y obra de Wiener se halla en José María Almira, *Norbert Wiener. Un matemático entre ingenieros* (Nivola, Tres Cantos 2009).

20. C. E. Shannon, «A mathematical theory of communication», *op. cit.*, p. 379.

21. John W. Tukey (1915-2000), estadístico estadounidense, enseñó en la Universidad de Princeton, y a partir de 1945, trabajó a tiempo parcial, en los Laboratorios Bell. Acuñó la palabra «bit», contracción de «*binary digit*» mientras trabajaba con John von Neumann en los primeros diseños de computadoras, pero fue Shannon quien lo empleó por primera vez en una publicación, en su artículo de 1948. También parece que Tukey fue el responsable del término *software* que utilizó por primera vez en un artículo publicado en 1958 en *American Mathematical Monthly*: «A lo largo de los siglos la computación numérica se ha enfrentado a la realidad y ha hecho las cosas más fáciles. Ha sido habitual utilizar tablas logarítmicas, incluso por quienes no saben recalcularlas, y las calculadoras de mesa y, ahora, calculadoras electrónicas, incluso por aquellos que no saben repararlas. Hoy el *software* que comprende las rutinas interpretativas cuidadosamente planeadas, compiladores y otros aspectos de la programación automática, son al menos tan importantes para el cálculo electrónico moderno como lo es su *hardware* de tubos, transistores, cables, cintas y similares»; John W. Tukey, «The teaching of concrete mathematics», *The American Mathematical Monthly 65*, 1-9 (enero de 1958); p. 2.

22. James Gleick, *La Información. Historia y realidad* (Crítica, Barcelona 2012; versión original en inglés de 2011), pp. 11-12. Este libro constituye una magnífica exposición de los trabajos de Shannon y, en general, de los inicios de la Era de la Información. Otros textos útiles y rigurosos son los de George Dyson, *Turing's Cathedral. The Origins of the Digital Universe* (Pantheon Books, Nueva York 2012), y Michael Riordan y Lillian Hoddeson, *Crystal Fire. The Birth of the Information Age* (W. W. Norton, Nueva York 1997).

23. Las aportaciones de Kilby y Noyce se tratan en T. R. Reid, *The Chip. How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution* (Random House Trade Publications, Nueva York 2001). Véase, asimismo, Christopher Lécuyer, *Making Silicon Valley. Innovation and the Growth of High Tech 1930-1970* (The MIT Press, Cambridge, Mass. 2006). Sobre Fairchild, consultar Christophe Lécuyer y David C. Brock, *Makers of the Microchip. A Documentary History of Fairchild Semiconductor* (The MIT Press, Cambridge, Mass. 2010), y en M. Riordan y L. Hoddeson, *Crystal Fire*, *op. cit.*

24. Gordon Moore, «Cramming more components onto integrated circuits», *Electronics 38*, 114-117 (19 de abril de 1965). Yo he utilizado la reimpresión de este artículo publicada en *Proceedings of the IEEE 86*, 82-85 (enero de 1998); cita en p. 83.

25. *Ibid.*, pp. 82-83.

26. Para el papel de la NASA, véase Andrew J. Butrica, «NASA's role in the manufacture of integrated circuits», en *Historical Studies in the Societal Impact of Spaceflight*, Steve, J. Dick, ed. (Office of Communications, NASA History Program Office, Washington D. C. 2015), p. 149.

27. Herbert S. Kleiman, «The integrated circuit: A case study of product innovation», D. B. A. tesis, George Washington University, junio de 1966, pp. 210-211.

28. *Report on the Use of Electronic Data-Processing Equipment in the Federal Government*, House of Representatives, Committee on Post Office and Civil Service, 86th Congress, 2nd session (Washington D. C. 1960), p. 61. Citado en Fritz Machlup. *The Production and Distribution of Knowledge in the United States* (Princeton University Press, Princeton 1972; primera edición de 1962), p. 311.

29. Más información sobre estos puntos, incluyendo precios de computadoras, en F. Machlup. *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*, *op. cit*.

30. Kilby, Merryman y Van Tassel habían avanzado lo suficiente como para solicitar una patente en septiembre de 1967. Presentaron una solicitud revisada en mayo de 1971 y una nueva revisión en diciembre de 1972. La patente se les concedió el 25 de junio de 1974.

31. T. R. Reid, *The Chip*, *op. cit.*, pp.171-172.

32. Al hablar de «más pequeñas» se entra en el campo de la miniaturización, un campo que en cierto sentido abrió Richard Feynman. En una conferencia titulada «There's plenty of room at the botton» («Hay mucho espacio al fondo»), que pronunció en la reunión anual de la American Physical Society el 29 de diciembre de 1959, Feynman alertó a los científicos sobre la posibilidad y el interés de trabajar en dimensiones mucho más pequeñas de las que frecuentadas por entonces. «Quiero describir un campo», comenzaba su conferencia «en el que se ha hecho poco, pero en el que en principio se puede hacer mucho. Este campo no es exactamente como otros, en tanto que no nos dirá mucho sobre física fundamental (en el sentido de "¿Qué son las partículas extrañas?"), pero que es más parecido a la física del estado sólido en el sentido de que puede decirnos mucho de gran interés sobre los extraños fenómenos que tienen lugar en situaciones complejas. Además, un punto que es muy importante es que tendría un enorme número de aplicaciones técnicas. De lo que quiero hablar es del problema de manipular y controlar cosas en una escala pequeña». Las escalas que consideraba Feymann llegaban a las atómicas: «No tengo miedo de considerar la cuestión final de si, en última instancia —en un futuro lejano—, podremos manipular los átomos de la forma en que queramos, ¡los mismísimos átomos, todo el camino hasta ellos! Qué sucedería si pudiésemos manipularlos uno a uno de la manera que quisiésemos (dentro de lo razonable, por supuesto; no podemos colocarlos, por ejemplo, de forma que sean químicamente inestables)»; R. Feynman, «There's plenty of room at the botton: An invitation to enter a new field of physics», *Engineering and Science 23*, 22-36 (1960). Manipular cada átomo es lo que ha logrado llevar a cabo la nanotecnología, una tecnociencia que forma parte de los fundamentos de una revolución en la ciencia de los materiales. La nanotecnociencia engloba cualquier rama de la tecnología o de la ciencia que investiga o hace uso de nuestra capacidad para controlar y manipular la materia a escalas comprendidas entre 1 y 100 nanómetros. Avances logrados en este dominio han permitido desarrollar nanomateriales y nanodispositivos que se utilizan en ámbitos diversos; es posible, por ejemplo, emplear una disolución de nanopartículas de oro de unos 35 nm de diámetro para localizar y detectar tumores cancerígenos en el cuerpo, puesto que hay una proteína presente en las células cancerígenas que reacciona con los anticuerpos adheridos a esas nanopartículas, permitiendo localizar las células malignas; o utilizar tubos nanoscópicos de grafeno —un material bidimensional compuesto de átomos de carbono dispuestos según un patrón regular hexagonal— observados en 1976 por Morinobu Endo y sobre los que llamó la atención en 1991 Sumio

Ijima, para fabricar materiales más resistentes que el acero y entre 6 y 10 veces más ligeros, que seguramente revolucionarán los mundos de la electricidad, la electrónica y la computación. Claro que para lograr esto fue necesario algo que Feynman también reclamó en su conferencia: mejores microscopios que los electrónicos por entonces disponibles, microscopios que permitieran observar muestras a una escala tal que permitiese avanzar en el estudio de las propiedades de los materiales. Tales microscopios, que superaron a los electrónicos, llegaron en 1981, gracias al trabajo de un grupo de físicos, encabezados por Gerd Binning y Heinrich Rohrer que trabajaban en los laboratorios de IBM en Zúrich. Se trata del microscopio de efecto túnel (un efecto netamente cuántico), instrumento que puede tomar imágenes de superficies a nivel atómico; por primera vez se podían «ver» los átomos. (El primer microscopio electrónico lo construyó Ernst Ruska, con la ayuda del ingeniero eléctrico Max Knoll, en 1931.)

33. Arthur C. Clarke, «V2 for ionosphere research?», *Wireless World* (febrero de 1945), p. 58.

34. Richard Gregory, «Seeing intelligence», en *What is Intelligence?*, Jean Khalfa, ed. (Cambridge 1994), pp. 13-26; p. 13.

35. Véase, en este sentido, los trabajos incluidos en *Norbert Wiener: Collected Works*, vol. IV, *op. cit.*

36. Norbert Wiener, «Cybernetics», reproducido en *Norbert Wiener: Collected Works*, *op. cit.*, p. 804.

37. John von Neumann, *Physics Today 2*, n.º 5, 33-34 (1949). «El libro», escribió allí Von Neumann, «trata de las reacciones automáticas o casi automáticas de mecanismos intencionales —artificiales o vivos— a sus entornos, o más específicamente, trata de los mecanismos regulatorios, la síntesis de los cuales constituye estos autómatas. "Cibernética" es un neologismo, acuñado por el autor para esa ocasión y —con la esperanza de que muchos lo compartan con él— para muchas ocasiones futuras. El autor lo deriva de la palabra griega Κυβερνήτης ("gobernador"); esto es, el "gobernador" de la máquina de vapor, del que trató Clerk Maxwell en un artículo de 1868.» En lugar de «gobernador», sería mejor traducir ese término por «timonel».

38. Reproducida en *John von Neumann: Selected Letters*, Miklós Rédei, ed. (London Mathematical Society-American Mathematical Society 2005), pp. 278-282, y en P. R. Masani, *Norbert Wiener, 1894-1964*, *op. cit.*, pp. 243-247.

39. Véase, por ejemplo, Norbert Wiener y Arturo Rosenblueth, «The mathematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elements, specifically in cardiac muscle», *Archivos del Instituto de Cardiología de México 16*, 205-265 (1946).

40. Warren McCulloch y Walter Pitts, «A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity», *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, 115-133 (1943). Véase, asimismo, Tara H. Abraham, *Rebel Genius. Warren S. McCulloch's Transdisciplinary Life in Science* (The MIT Press, Cambridge, Mass. 2016).

41. Me ocuparé de los fagos en el capítulo 14.

42. John von Neumann, «The general and logical theory of automata», en *Cerebral Mechanisms in Behavior. The Hixon Symposium*, L. A. Jeffress, ed. (John Wiley, Nueva York 1951), p. 527; reimpreso en *Papers of John von Neumann on Computing and Computer Theory*, W. Aspray y A. Burks, eds. (MIT Press, Cambridge, Mass. 1986), pp. 391-431; cita en p. 395. [Hay trad. cast.: «Teoría general y lógica de los autómatas», en H. Aiken y otros, *Perspectivas de la revolución de los computadores* (Alianza, Madrid 1975), pp. 131-163; en esta obra también se encuentra reproducido, traducido al castellano, un informe que preparó en 1946 junto con Arthur W. Burks y Herman H. Goldstine para el Ejército estadounidense (U.S. Army Ord. Dept., contract W-36-034-0RD-7481): «Discusión preliminar del proyecto lógico de un instrumento de cómputo electrónico», pp. 69-80.]

43. Aun así, Von Neumann se daba cuenta de que «los procesos que se desarrollan en el sistema nervioso pueden cambiar su carácter de digital a analógico, volviendo de nuevo al digital, etc., repetidamente», John von Neumann, *El ordenador y el cerebro* (Antoni Bosch Editor, Barcelona 1980; originalmente publicado en inglés de 1958), p. 78. Se encuentran comentarios interesantes sobre esta cuestión en Freeman Dyson, «Are brains analogue or digital?», en Dyson, *Birds and Frogs. Selected Papers 1990-2014* (World Scientific, Singapur 2015), pp. 85-98.

44. John von Neumann, «The general and logical theory of automata», *op. cit.*, p. 554.

45. Von Neumann, *El ordenador y el cerebro, op. cit.*, pp. 84-85.

46. John von Neumann, «Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components», en Claude Shannon y John McCarthy, eds., *Automata Studies* (Princeton University Press, Princeton 1956), pp. 43-98. En P. J. Nahin, *The Logician and the Engineer, op. cit.*, pp. 106-110, se trata de este artículo.

47. Von Neumann, *El ordenador y el cerebro*, *op. cit.*, p. 33.

48. Von Neumann, *El ordenador y el cerebro*, *op. cit.*, pp. 82-83.

49. *Ibid.*, pp. 86-87.

50. El manuscrito mecanografiado se reproduce en AlanTuring.net Archives («The Turing Archive for the History of Computing»), dirigido por Jack Copeland y Diane Proudfoot; también se incluye en *The Essential Turing*, *op. cit.*, pp. 410-432.

51. Alan Turing, «The chemical basis of Morphogenesis», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 237, 37-72 (1952-1954), Reproducido en *The Essential Turing*, *op. cit.*, pp. 519-561.

52. Reproducida en AlanTuring.net («The Turing Archive for the History of Computing»).

53. Alan Turing, «Computing machinery and intelligence», *Mind 59*, 433-460 (1950); reproducido en *The Essential Turing*, *op. cit.*, pp. 441-464.

54. *Ibid.*, p. 441.

55. Como curiosidad mencionaré que en 2014 se estrenó una película con este título, *The imitation game*, en la que el protagonista era Turing y su trabajo como descifrador de los códigos alemanes.

56. *The Essential Turing*, *op. cit.*, pp. 459-460.

57. *Ibid.*, p. 459.

58. El año siguiente a la publicación del artículo al que me estoy refiriendo, Turing pronunció una conferencia, «Can digital computers think?», que la BBC emitió el 15 de mayo de 1951. El texto se reproduce en *The Essential Turing*, *op. cit.*, pp. 482-486. La frase con que finalizó su intervención es digna de recordar, incluso memorable: «Todo el proceso de pensar nos es todavía bastante misterioso, pero creo que el intento de producir una máquina que piense nos ayudará mucho para averiguar cómo pensamos nosotros mismos».

59. C. E Shannon y J. McCarthy, eds., *Automata Studies* (Princeton University Press, Princeton 1956), pp. v-vi; citado en *The Essential Turing*, *op. cit.*, p. 437.

60. John McCarthy se había formado como matemático, tras lo cual, en 1953, trabajó en los Laboratorios Bell, junto a Minsky y bajo la dirección de Shannon. En el verano de 1955, justo antes de pasar a formar parte del Dartmouth College, trabajó para IBM, donde adquirió conocimientos en computadoras.

61. Además de los cuatro firmantes de la propuesta a la Fundación Rockefeller, participaron Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, que se había graduado bajo la dirección de Norbert Wiener en el MIT, Trenchard More, Arthur Samuel, Herbert Simon y Allen Newell.

62. El término de Wiener volvió a ampliar su ámbito de acción en la década de 1990 con la expresión «ciberespacio».

63. Un *bot* es un programa informático que efectúa tareas reiterativas de forma automática a través de internet. Algunos de los *bots* más antiguos se remontan a 1988 con la aparición del Internet Relay Chat (IRC), que proporcionaba servicios automáticos y rastreadores en internet, como Googlebot, inicialmente denominado BackRub cuando se creó en 1996. Sin *bots* buscadores como Google no podrían existir (en 2020 alrededor del 40 % del tráfico de internet lo llevaban a cabo *bots*). Otro tipo de *bots* se utilizan en subastas para realizar múltiples pujas en fracciones de segundos.

64. H. A. Simon, *The Shape of Automation: For Men and ad Management* (Harper & Row, Nueva York 1965), p. 96. La cita de Minsky aparece en H. L Dreyfus y S. E. Dreyfus, *Mind over Machine* (Macmillan, Nueva York 1985), p. 78. Citados en B. Jack Copeland, *Alan Turing. El pionero de la era de la informática* (Turner, Madrid 2013; edición original en inglés de 2012), p. 220

65. John R. Seartle, «Minds, brains, and programs», *The Behavioral and Brain Sciences 3*, 417-457 (1980). En este artículo Seartle presentó un experimento mental que ha tenido gran repercusión: el de la habitación china.

66. El conocido matemático y físico Roger Penrose es otro destacado crítico de la posibilidad de lograr IA fuerte; véase Roger Penrose, *La nueva Mente del emperador* (Mondadori, Madrid 1991; edición original en inglés de 1989).

67. Ramón López de Mántaras y Pedro Meseguer González, *Inteligencia Artificial* (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 2017), pp. 10-11.

68. Kurt Gödel, «Über formal unentscheidbare de *Principia Mathematica* und verwandter System», *Monatshefte für Mathematik und Physik 38*, 173-198 (1931).

69. John D. Barrow, *¿Por qué el mundo es matemático?* (Grijalbo Mondadori, Barcelona 1997; versión original en italiano de 1992), p. 97.

70. D. Michie, *On Machine Intelligence* (Ellis Horwood, Chichester 1986), pp. 78-79.

71. J. Copeland, *Alan Turing's Automatic Computing Engine* (Oxford University Press, Oxford 2005), cap. 3. C. E. Shannon, «Programming a computer for playing good chess», *Philosophical Magazine 41*, 256-275 (1950).

72. *Faster than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines*, Bertram Vivian Browden, ed. (Pitman and Sons, Londres 1953). La contribución específica de Turing, extraída de su propio manuscrito, se publicó en *The Essential Turing*, *op. cit.*, pp. 569-575.

73. Norbert Wiener, *Cibernética y sociedad* (Editorial Sudamericana, Buenos Aires 1969), pp. 163-165.

74. Norbert Wiener, *Cibernética y sociedad*, *op. cit.*, pp. 164-165.

75. En su artículo de 1950, «Computing machinery and intelligence», Turing ya incluyó una sección (la 7) dedicada a «Learning machines» («Máquinas que aprenden»).

76. Volodymyr Mnih, Koray Kavukcuoglu, David Silver, Alex Graves, Ioannis Antonoglou, Daan Wierstra y Martin Riedmiller, «Playing Atari with Deep Reinforcement Learning», arXiv:1312.5602 (2013), p. 2.

77. Citado en Juanita Bawagan, «The Turing Test 2.0», *Physics World 34* (5), 29-33 (mayo de 2021), p. 31. Este artículo contiene una excelente exposición de la situación en 2021 del Test de Turing; el mismo número de la revista incluye otros artículos sobre la utilización de la IA en otras disciplinas.

78. Klaus Schwab, *La cuarta revolución industrial* (Debate, Barcelona 2016), p. 20.

1. Alexander Fleming, «On the antibacterial action of cultures of a Penicillium, with special reference to their use in the isolation of *B. Influenzae*», *British Journal of Experimental Pathology 10*, 226-236 (1929). «Con respecto a infecciones producidas por microbios», escribía Fleming al final de este artículo, «la penicilina parece tener algunas ventajas sobre los bien conocidos antisépticos químicos... Además de su posible uso en el tratamiento de infecciones bacterianas, la penicilina es ciertamente útil para el bacteriólogo por su capacidad de inhibir microbios no deseados en cultivos, de forma que es posible aislar fácilmente las bacterias insensibles a la penicilina».

2. E. Chain, H. W. Florey, A. D. Gardner, Norman G. Heatley, Margaret A. Jennings, J. Orr-Ewing y A. G. Sanders, «Penicillin as a chemotherapeutic agent», *Lancet 2*, 226-228 (1940).

3. John D. Bernal, *La ciencia en nuestro tiempo* (Universidad Nacional Autónoma de México 1960; edición original en inglés de 1954; segunda edición corregida de 1957), p. 181.

4. A. Schatz, E. Bugie y S. A. Waksman, «Streptomycin, a substance exhibiting antibiotic activity against gram-positive and gram-negative bacteria», *Proceedings of the Society for Experimental Biology 55*, 66-69 (1944).

5. Que fue Schatz el descubridor y no Waksman se explica en Peter Pringle, *Experiment Eleven. Dark Secrets behind the Discovery of a Wonder Drug* (Frank R. Walker, Lombard, Illinois 2012).

6. Waksman indujo a diversas firmas farmacéuticas a producir la estreptomicina, ya que la demanda pronto superó las posibilidades de una sola compañía. Gracias a los ingresos por la patente, en una industria que generaba 50 millones de dólares anuales, Rutgers College recibió millones de dólares. El propio Waksman donó parte de sus derechos para el establecimiento de un Instituto de Microbiología allí.

7. El logro de Voronoy tardó en ser conocido fuera de la Unión Soviética. Parece que el primer comentario en este sentido apareció en D. M. Hume, J. P. Merril, B. F. Miller y G. W. Thorn, «Experiences with renal homotransplantation in the human: report of nine cases», *Journal of Clinical Investigation 34*, 327-382 (1955).

8. Con anterioridad, en 1964, James Hardy, el pionero de los trasplantes de pulmón, intentó realizar uno de corazón, pero el fallo prematuro del corazón del receptor le sorprendió sin disponer de un corazón de donante, así que, en su lugar, utilizó el de un chimpancé que dejó de funcionar rápidamente.

9. A. H. Compton, «Modern Physics and the discovery of X-rays», *Radiology* 45, 534-538 (1945), reimpreso en Robert S. Shankland, ed., *Scientific Papers of Arthur Holly Compton* (The University of Chicago Press, Chicago 1973), pp. 727-731; pp. 730-731.

10. Una hormona es una sustancia secretada por algunas células especiales, cuya función es afectar la función de otras células.

11. Ver la autobiografía de Margaret Sanger, *An Autobiography* (W. W. Norton & Co., Nueva York 1938).

12. Carl Djerassi, *La píldora, los chimpancés pigmeos y el caballo de Degas* (Fondo de Cultura Económica, México 1992).

13. I. Wilmut, A. E. Schniecke, J. McWhir, A. J. Kind y K. H. S. Campbell, «Viable offspring derived from fetal and adult mammaliam cells», *Nature 385*, 811-813 (1997). Este artículo se reproduce en un apéndice (pp. 359-366) al libro de divulgación que Wilmut y Campbell, con la ayuda del zoólogo y escritor Colin Tudge, escribieron en 2000. [Hay trad. cast.: I. Wilmut, K. Campbell y C. Tudge, *La Segunda Creación*, Ediciones B, Barcelona 2000.]

14. Una explicación muy accesible de este desarrollo es el artículo preparado por el equipo de ACT para *Scientific American*: Jose B. Cibelli, Robert P. Lanza y Michael D. West, con Carol Ezzell, «The first human clone embryo», *Scientific American* (enero de 2002), 43-49.

15. «Clonación», *ABC*, 26 de noviembre de 2001, p. 11.

16. Sin embargo, antes, el 19 de diciembre de 2000, la Cámara de los Comunes (el Parlamento) británica había aprobado la clonación terapéutica de embriones con objeto de obtener células madre, aunque la clonación con fines reproductivos quedaba prohibida.

17. J. Sampedro, «Próxima meta: clonación de seres humanos», *El País*, *Domingo*, 2 de diciembre de 2001, pp. 1-2.

18. I. Wilmut, K. Campbell y C. Tudge, *La Segunda Creación*, *op. cit.*, p. 315.

19. James E. Till y E. A. McCulloch, «A direct measurement of the radiation sensitivity of normal mouse bone marrow cells», *Radiation Research 14*, 213-222 (1961); A. J. Becker, E. A. McCulloch y J. E. Till, «Cytological demonstration of the clonal nature of spleen colonies derived from transplanted mouse marrow cells», *Nature 197*, 452-454 (1963).

1. «The incidence of alkaptonuria: a study in chemical individuality», *Lancet* (13 de diciembre de 1902). En 1909, Garrod resumió los resultados de sus investigaciones en un libro que se convertiría en un clásico: *Inborn Errors of Metabolism* (Frowde, Hodder and Stoughton, Londres 1909).

2. William Bateson *Mendel's Principles of Heredity. A Defence* (Cambridge University Press, Cambridge 1902).

3. Citada en Beatrice Bateson, *William Bateson, F. R. S., Naturalist. His Essays and Addresses together with a Short Account of His Life* (Cambridge University Press, Cambridge 1928), p. 93.

4. Texto reproducido en Elof Axel Carlson, *Mendel's Legacy. The Origin of Classical Genetics* (Cold Spring Harbor Laboratories Press, Cold Spring Harbor, Nueva York 2004), p. 124. Original en W. Wilks, ed., *Report of the Third International Conference 1906 on Genetics* (Royal Horticultural Society/Spottiswoode and Co., Londres 1906).

5. Bateson también acuñó los términos «alelo», «heterocigoto» y «homocigoto».

6. Wilhelm Johannsen, *Elemente der exakten Erblichkeitslehre* (Gustav Fischer 1909), pp. 143-144. Se trata de una traducción al alemán, ampliada, de un texto publicado en danés en 1905: *Arvelighedslaerens elementer* (*Elementos de la herencia*). El término «gen» deriva de la raíz griega —que se encuentra también en vocablos como «génesis» o «generación»— que denota el concepto de engendrar.

7. Walther Flemming, «Über das Verhalten des Kerns bei der Verteilung und über die Bedeutung mehrkerniger Zellen», *Archiv für Pathologie, Anatomie und Physiologie 77*, 1-29 (1879); Heinrich Waldeyer, «Über Karyokinese und ihre Beziehungen zur den Befruchtungsvorgängen», *Archiv für mikroskopische Anatomie 32*, 1-122 (1888).

8. Hans Krebs (en colaboración con Anne Martin), *Reminiscences and Reflections* (Clarendon Press, Oxford 1981), p. 41

9. Sobre Morgan, véase Garland E. Allen, *Thomas Hunt Morgan: The Man and His Science* (Princeton University Press, Princeton 1979).

10. En 1915, el equipo de Morgan publicó un libro en el que resumieron sus contribuciones: T. H. Morgan, A. H. Sturtevant, H. J. Muller y C. B. Bridges, *The Mechanism of Mendelian Heredity* (Henry Holt and Co., Nueva York 1915). Esta obra influyó notablemente en los libros de textos de genética durante la siguiente generación.

11. Sobre la utilización de *Drosophila* por Morgan y otros investigadores, véase Robert E. Kohler, *Lords of the Fly*. Drosophila *Genetics and the Experimental Life* (The University of Chicago Press, Chicago 1994).

12. Thomas H. Morgan, «Sex limited inheritance in *Drosophila*», *Science 32*, 120-122 (1910); «Hybridization in a mutating period of *Drosophila*», *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine 7*, 160-162 (1910).

13. Alfred H. Sturtevant, «The linear arrangement of six sex-linked factors in *Drosophila*, as shown by their mode of association», *Journal f Experimental Zoology 14*, 43-59 (1913). Sturtevant recibió la ayuda de otros miembros del grupo de colaboradores de Morgan, sobre todo de Muller, que más tarde se quejaría de que sus aportaciones no habían sido suficientemente reconocidas.

14. En 1933, Morgan recibió el premio Nobel de Medicina «por sus descubrimientos relativos al papel que desempeñan los cromosomas en la herencia».

15. Thomas Hunt Morgan, *The Theory of the Gene* (Yale University Press, New Haven 1926). He utilizado la traducción al español (de Augusto Pi Suñer, de 1965) de fragmentos del texto de Morgan incluidos en José María López Piñero, *Antología de clásicos médicos* (Editorial Triacastela, Madrid 1998), pp. 308-309.

16. Hermann J. Muller, «The development of the gene theory», *Genetics in the Twentieth Century* (MacMillan Co., Nueva York 1951), pp. 77-99. Se trata del texto de una conferencia que Muller pronunció el 12 de septiembre de 1950 en Columbus, Ohio, en una reunión sobre «Golden Jubilee of Genetics».

17. O. T. Avery, C. M. MacLeod y M. McCarty, «Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from Pneumococcus type III», *Journal of Experimental Medicine 79*, 137-158 (1944). Un interesante, aunque breve, trabajo sobre Avery se encuentra en Nicholas Russell, «Oswald Avery and the origin of molecular biology», *British Journal for the History of Science 21*, 393-400 (1988).

18. James Watson, *ADN, el secreto de la vida* (Taurus, Madrid 2003; edición original en inglés de 2003), p. 39.

19. Gerardus J. Mulder, «Über die Zusammensetzung einiger thierischen Substanzen», *Journal für praktische Chemie 16*, 129-152 (1839).

20. En esta reconstrucción me he ayudado de un trabajo previo mío: José M. Sánchez Ron, «La conexión físico-química del descubrimiento del ADN», en Pedro García Barreno (dir.), *50 años de ADN. La doble hélice* (Espasa Calpe, Madrid 2003), pp. 21-60. Es obligado señalar que existen otros «instrumentos físico-químicos» importantes que no trato. Uno de ellos es la ultracentrifugadora desarrollada por el sueco Theodor Svedberg (1884-1971), una máquina esencial para separar moléculas biológicas de gran tamaño (la primera ultracentrifugadora que permitía determinar la masa molecular y las propiedades y forma de proteínas fue puesta a punto en 1926, dando resultados en 1926). Otra técnica importante es la electroforesis, desarrollada por un discípulo de Svedberg, Arne Tiselius (1902-1971), con la que se podían separar proteínas y, posteriormente, fragmentos de ADN de todos los tamaños. Tanto Svedberg como Tiselius recibieron el premio Nobel de Química, en 1926 y 1948, respectivamente. Sobre el papel de Svedberg en la historia de la biología molecular, ver Lily E. Kay, *The Molecular Vision of Life. Caltech, the Rockefeller Foundation, and the Rise of the New Biology* (Oxford University Press, Oxford 1993), pp. 112-116; asimismo, Michel Morange, *Histoire de la biologie moléculaire* (La Découverte, París 1994), pp. 119-125, que se ocupa también de Tiselius.

21. Para más detalles sobre las aportaciones y actividades de W. L. Bragg, véase Graeme K. Hunter, *Light Is a Messenger. The Life and Science of William Lawrence Bragg* (Oxford University Press, Oxford 2004).

22. En 1953 abandonaría Cambridge para ocupar el antiguo puesto de su padre en la Royal Institution.

23. Nevill Mott, *A Life in Science* (Taylor & Francis, Londres 1986), p. 110.

24. Sobre Bernal, véase Andrew Brown, *J. D. Bernal, the Sage of Science* (Oxford University Press, Oxford 2005).

25. Esta carta se reproduce en la necrológica que sobre su antiguo maestro escribió Dorothy M. C. Hodgkin: «John Desmond Bernal», *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 26, 1784 (1980); pp. 25-26. Hutchinson merece más reconocimiento del que normalmente se le concede. Trabajó cuarenta años en Cambridge (1891-1931), llegando a ser, como veremos enseguida, *professor*. Se había doctorado con un trabajo sobre química orgánica realizado bajo la dirección del químico orgánico alemán Emil Fischer, catedrático en Wurzburgo, en donde, recordemos, estaba entonces Röntgen, cuyos trabajos de rayos X pudo conocer Hutchinson de primera mano.

26. John D. Bernal, «The structure of graphite», *Proceedings of the Royal Society of London A 106*, 794-773 (1924). Éste fue el primer artículo científico que Bernal publicó.

27. J. D. Bernal, *La ciencia en nuestro tiempo*, *op. cit.*, p. 164.

28. John D. Bernal y Dorothy Crowfoot, «X-ray photographs of crystalline pepsin», *Nature* 133, 794-795 (1934).

29. Sobre Dorothy Crowfoot Hodgkin, ver Georgina Ferry, *Dorothy Hodgkin. A Life* (Granta Books, Londres 1998).

30. Max F. Perutz, «Cómo se descubrió el secreto de la vida», en *Los científicos, la ciencia y la humanidad* (Granica, Barcelona 2002; edición original en inglés de 1998), pp. 251-262; 152. Este artículo apareció inicialmente en la revista *Gene* 135, 9-13 (1993).

31. Max F. Perutz, art. cit., en *Los científicos, la ciencia y la humanidad*, *op. cit.*, p. 251.

32. Max F. Perutz, «El extranjero enemigo», en *ibid.*, pp. 115-159; pp. 139-140.

33. He tomado esta cita, al igual que las siguientes, de Robert Olby, *El camino hacia la doble hélice* (Alianza, Madrid 1991; edición original en inglés de 1974), pp. 383-384, quien a su vez las tomó de Max F. Perutz, «Origins of molecular biology», *New Scientist 85*, 326-329 (1980).

34. *Crystal Clear. The Autobiographies of Sir Lawrence Bragg and Lady Bragg*, A. M. Glacer y Patience Thomson, eds. (Oxford University Press 2015), pp. 153-154.

35. Citado en Horace F. Judson, *The Eight Day of Creation. The Making of the Revolution in Biology* (Simon and Schuster, Nueva York 1979), p. 537.

36. En 1962 —el mismo año que la Fundación Nobel premió a Watson, Crick y Wilkins, en Medicina— Perutz recibió el premio Nobel de Química por sus «investigaciones sobre la estructura de proteínas globulares (en particular la hemoglobina)». Lo compartió con otro investigador del Cavendish, John C. Kendrew (a quien el propio Perutz había enseñado los fundamentos de la cristalografía), que lo recibió por «la determinación de la estructura de la mioglobina».

37. Ver en este punto, Robert C. Olby, «The “mad pursuit”: X-ray crystallographers’ search for the structure of haemoglobin», *History and Philosophy of Life Sciences 7,* 171-193 (1985).

38. Delbrück ya nos apareció en el capítulo 10 (sección «La biología y el régimen nazi»), con relación a Nikolai Timoféeff-Ressovsky. Repito ahora unos cuantos datos de los que mencioné entonces.

39. Niels Bohr, «Light and life», *Nature 131*, 421-423, 457-459 (1933). [Hay trad. cast.: Niels Bohr, *Física atómica y conocimiento humano* (Aguilar, Madrid 1964; edición original en inglés de 1958), pp. 5-16.]

40. Max Delbrück, *Mente y materia* (Alianza Editorial 1989; edición original en inglés de 1986), p. 255.

41. Hermann J. Muller, «Artificial transmutation of the gene», *Science 66*, 84-87 (1927). Pese a lo que puede inducir a pensar su apellido, Muller nació en Nueva York, hijo de una estadounidense y de un alemán que había emigrado a Estados Unidos.

42. N. W. Timoféeff-Ressovsky, K. G. Zimmer y M. Delbrück, «Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur», *Nachrichten von der Gesellschaft für Wissenschaften zu Göttingen. Math.-Phys. Klasse, Fachgruppe* VI, 189-245 (1935).

43. Erwin Schrödinger, *¿Qué es la vida?* (Tusquets Editores, Barcelona 1983), p. 59.

44. Delbrück viajó a Norteamérica en 1937 con una segunda beca de la Fundación Rockefeller. Escogió estudiar genética con Thomas Morgan, entonces en el California Institute of Technology, pero finalmente en lugar de incorporarse al grupo que estudiaba a la *Drosophila*, se unió al bioquímico Emory Ellis, que estaba preparando experimentos para investigar los fagos.

45. Los fagos fueron descubiertos en 1915-1917 por Frederick William Twort y Félix d'Hérelle.

46. Emory L. Ellis y Max Delbrück, «The growth of bacteriophage», *Journal of General Physiology* 22, 365-384 (1939).

47. Alfred D. Hershey y Martha Chase, «Independent functions of viral protein and nucleid acid growth of bacteriophage multiplication», *Journal of General Physiology 36*, 39-56 (1952).

48. Salvador Luria, *Autobiografía de un hombre de ciencia* (Fondo de Cultura Económica, México 1986), pp. 145-146. La edición original en inglés de este libro (1984) llevaba por título: *A Slot Machine, A Broken Test Tube: An Autobiography*.

49. Gunther S. Stent, «Introduction: waiting for the paradox», en *Phage and the Origins of Molecular Biology* (Cold Spring Harbor Laboratories Press, Cold Spring Harbor 1996), pp. 3-8; p. 3. Ésta es una «edición ampliada» de la edición original, que apareció en 1992.

50. François Jacob, *La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia* (Tusquets, Barcelona 1999), p. 274.

51. Francis Crick, *Qué loco propósito* (Tusquets Editores, Barcelona 1989; edición original en inglés de 1988), p. 28. Véase, asimismo, Robert Olby, *Francis Crick. Hunter of Life's Secrets* (Cold Spring Harbr Laboratories Press, Cold Spring Harbor, New York 2008).

52. *Ibid.*, pp. 22-23.

53. *Ibid.*, pp. 23-24.

54. Esta y las citas que siguen están tomadas del capítulo 2 de *Qué loco propósito*, *op. cit.*

55. Wilkins ha escrito su autobiografía: véase Maurice Wilkins, *The Third Man of the Double Helix* (Oxford University Press, Oxford 2003).

56. Crick, *Qué loco propósito*, *op. cit.*, p. 14.

57. Sobre Pauling, véase Thomas Hager, *Force of Nature. The Life of Linus Pauling* (Simon & Schuster, Nueva York 1995) y Clifford Mead y Thomas Hager, eds., *Linus Pauling, Scientist and Peacemaker* (Oregon State University Press, Corvallis 2001).

58. En 1930, por ejemplo, Pauling dio un seminario al grupo de Morgan acerca de la modelización matemática del cruzamiento de cromosomas.

59. Recuérdese lo que se señaló en el capítulo 6 sobre las contribuciones de Pauling a la química cuántica.

60. Linus Pauling, «Early days of molecular biology in the California Institute of Technology», *Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry 15*, 1-9 (1986); p. 8.

61. Crick, *Qué loco propósito*, *op. cit.*, p. 74.

62. Se debe referir a William H. Bragg y William L. Bragg, *X-Rays and Crystal Structure* (G. Bell and Sons, Londres 1915), un texto que fue reeditado numerosas veces (la segunda edición apareció en 1916, la tercera en 1918, la cuarta en 1924 y la quinta en 1925); en 1921 se publicó una traducción al francés: *Rayons X et structure cristalline* (Gauthier-Villars, París).

63. Linus Pauling, «Fifty years of physical chemistry in the California Institute of Technology», *Annual Review of Physical Chemistry 16*, 1-14 (1965). Sobre estas facetas de la biografía de Pauling, ver Judith R. Goodstein, «Atoms, molecules, and Linus Pauling», *Social Research 51*, 691-708 (1984).

64. Roscoe G. Dickinson y Linus Pauling, «The crystal structure of molybdenite», *Journal of the American Chemical Society 45*, 1466-1471 (1923).

65. L. Pauling, «Fifty years of physical chemistry in the California Institute of Technology», *op. cit.*, p. 7.

66. Estos puntos se desarrollan en John W. Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America* (Princeton University Press, Princeton 1990), pp. 272-273. El capítulo 6 de este libro estudia también los trabajos de Pauling.

67. Linus Pauling, «Early work on chemical bonding in relation to solid state physics», *Proceedings Royal Society of London A 378*, 207-218, (1981); pp. 208-209.

68. Esta y la siguiente carta de Pauling a Lewis se reproducen en scarc.library.oregonstate.edu/coll/Pauling.

69. Max Perutz, «¿Qué mantiene unidas a las moléculas?», en Perutz, *Los científicos, la ciencia y la humanidad*, *op. cit.*, pp. 229-240; pp. 232-234. Este ensayo apareció por primera vez en 1994 (*Natural Structural Biology 1*, 667-671) como un obituario de Pauling.

70. Sobre estos puntos, véase Robert E. Kohler, *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists, 1900-1945* (The University of Chicago Press, Chicago 1991); especialmente el capítulo 12 («Weaver and the biomolecular set»).

71. Linus Pauling, Robert B. Corey y Herman R. Branson, «The structure of proteins: two hydrogenbonded helical configurations of the polypeptide chain», *Proceedings of the National Academy of Sciences 37*, 205-211 (1951); p. 205.

72. Véase William T. Astbury y A. Street, «X-ray studies of the structure of hair, wool, and related fibres», *Philosophical Transactions of the Royal Society* A *230*, 75-101 (1931). Un resumen de las aportaciones de Astbury se encuentra en William T. Astbury, *Fundamentals of Fibre Structure* (Londres 1933); véase, asimismo, André Authier, *Early Days of X-ray Cristallography* (Oxford UniversityPress, Oxford 2013), pp. 260-263.

73. R. Olby, *El camino hacia la doble hélice*, *op. cit.*, p. 423.

74. John C. Kendrew, «How molecular biology started», *Scientific American 216*, 141-144 (1967).

75. Utilizo la edición de la primera edición (1968) anotada de James D. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, Alexander Gann y Jan Witkowski, eds. (Simon & Schuster, Nueva York 2012), p. 57.

76. *Ibid.*, p. 46.

77. F. Crick, *Qué loco propósito*, *op. cit.*, p. 73.

78. Es interesante también ver cómo valoraba Crick la distinta influencia de la hélice de Pauling y la doble del ADN. «La hélice α fue un acontecimiento importante en el tortuoso camino de la biología molecular, pero no tuvo el mismo impacto que la doble hélice del ADN. En un principio esperábamos que, dados los plegamientos básicos de las hélices α y los planos ß, se pudiera resolver la estructura de una proteína construyendo el modelo directamente. Por desgracia, la mayoría de las proteínas son demasiado complicadas para ello. En resumen, estos dos clichés estructurales nos pusieron sobre aviso en cuanto a lo que cabía esperar de algunas partes de una proteína, pero no revelaron inmediatamente el secreto de la especificidad y actividad catalítica de una proteína concreta. Por el contrario, la estructura del ADN puso de manifiesto inmediatamente su mecanismo, sugiriendo súbitamente cómo podrían replicarse exactamente los ácidos nucleicos. *En el fondo, el ADN es una molécula mucho menos sofisticada que una proteína evolucionada y por esta razón revela sus secretos más fácilmente*»; *Ibid*., pp. 73-74 (cursivas añadidas).

79. L. Pauling, «Early days of molecular biology in the California Institute of Technology», *op. cit.*, pp. 7-8.

80. Jerry Donohue (1920-1985), efectivamente, había trabajado con Pauling, con quien se doctoró en el Caltech en 1947. A continuación permaneció como *senior research fellow* en Caltech con Pauling hasta 1952, año en el que recibió una beca de la Fundación Guggenheim que utilizó para trasladarse al Cavendish. Allí compartió despacho con Crick y Watson, informándoles de que las estructuras hasta entonces aceptadas de las bases purina y piramidina no eran correctas, un dato que resultó esencial para el trabajo sobre la doble hélice de Watson y Crick.

81. James D. Watson, «Growing up in the phage group», en *Phage and the Origins of Molecular Biology*, *op. cit.*, pp. 239-245; p. 239.

82. *Ibid.*, p. 240.

83. Jacques Monod, «Foreword», en *The Collected Works of Leo Szilard. Scientific Papers*, Bernard T. Feld y Gertrude Weiss Szilard, eds. (The MIT Press, Cambridge, Mass. 1972), pp. xv-xvii; pp. xv-xvi.

84. Watson, «Growing up in the phage group», *op. cit.*, p. 243.

85. Watson, *op. cit.*, p. 245.

86. J. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, *op. cit.*, p. 194.

87. *Ibid.*, p. 198.

88. M. Wilkins, *The Third Man of the Double Helix*, *op. cit.*, pp. 197-198.

89. Franklin, efectivamente, abandonó el King's College por el Birkbeck y por trabajar con Bernal.

90. En *The Double Helix*, Watson se refirió a este punto como sigue: «Desde luego, Rosy no nos dio directamente sus datos. A decir verdad, nadie en el King's [College de Londres] sabía que los teníamos en las manos. Llegaron a nuestro poder gracias a que Max [Perutz] formaba parte de un comité nombrado por el Medical Research Council para coordinar la investigación biofísica dentro de sus laboratorios. Como [John] Randall deseaba convencer al comité de que había formado un eficaz grupo de investigación, había dado instrucciones a su personal en el sentido de que redactaran un amplio resumen de sus trabajos. A su debido tiempo, este resumen fue multicopiado y enviado a todos los miembros del comité. El informe no era confidencial, así que Max no vio razón alguna para no dárnoslo a Francis y a mí»; J. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, *op. cit.*, p. 194. Otro dato relevante es que Watson asistió, en noviembre de 1951, a un seminario de departamento que Franklin dio en el King's y en el que habló de los trabajos que estaba emprendiendo.

91. Información valiosa sobre las relaciones entre Franklin y Wilkins, al igual que sobre sus respectivas aportaciones al descubrimiento de la estructura del ADN, se encuentran en Brenda Maddox, *Rosalind Franklin. The Dark Lady of DNA* (HarperCollins Publishers, Nueva York 2002), y en la autobiografía de Maurice Wilkins, *The Third Man of the Double Helix*, *op. cit.* El título del libro de Maddox está basado en una frase de Wilkins en una carta de marzo de 1953 a Crick: «I think you will be interested to know that our dark lady leaves us next week...» («Creo que estarás interesado en saber que nuestra dama oscura nos deja esta semana...»).

92. Citado en J. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, *op. cit.*, p. 182.

93. Franklin publicó sus imágenes después de que hubiese aparecido el artículo de Watson y Crick y el suyo (junto con Gosling) que siguió a éste (y otro, como veremos, de Wilkins, Stokes y Wilson): Rosalind E. Franklin y Raymond G. Gosling, «Evidence for 2-chain helix in crystalline structure of sodium deoxyrribonucleate», *Nature 172*, 156-157 (1953).

94. Francis H. Crick, «DNA: A cooperative history», en *DNA: The Double Helix. Perspective and Prospective at Forty Years*, Donald A. Chambers, ed. (New York Academy of Sciences, Nueva York 1995), pp. 198-199.

95. Erwin Chargaff, «Chemical specificity of nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation», *Experientia 6*, 201-209 (1950), p. 206; «The composition of desoxyribonucleic acid of salmon sperm», *Journal of Biological Chemistry 192*, 223-230 (1951).

96. E. Chargaff, «Chemical specificity of nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation», *op. cit.*, p. 206.

97. J. D. Watson y F. H. C. Crick, «Molecular structure of nucleid acids. A structure for deoxyribose nucleid acid», *Nature 171*, 737-738 (1953). [Hay trad. cast.: P. García Barreno, ed., *Cincuenta años de ADN. La doble hélice*, *op. cit.*, p. 115.]

98. M. H. Wilkins, R. Stokes y H. R. Wilson, «Molecular structure of deoxypentose nucleic acids», *Nature 171*, 738-740 (1953); Rosalind E. Franklin y R. G. Gosling, «Molecular configuration in sodium thymonucleate», *Nature 171*, 740-741 (1953). [Hay trad. cast. de estos artículos en P. García Barreno, ed., *Cincuenta años de ADN. La doble hélice*, *op. cit.*, pp. 116-117.]

99. J. D. Watson y D. H. Crick, «Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid», *Nature 171*, 964-967 (1953). [Hay trad. cast.: P. García Barreno, ed., *Cincuenta años de ADN. La doble hélice*, *op. cit.*, pp. 118-120.]

100. Matt Meselson y Frank W. Stahl, «The replication of DNA in *Escherichia* coli», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 44*, 671-682 (1958). La caracterización de este trabajo como «el experimento más bello de la biología» fue realizada por John Cairns, del Cold Spring Harbor Laboratory, a Horace Judson, durante una entrevista; citado en H. F. Judson, *The Eight Day of the Creation*, *op. cit.*, p. 188. Para una reconstrucción del experimento de Meselson y Stahl desde la perspectiva de la historia de la ciencia, véase Frederic L. *Holmes, Meselson, Stahl, and the Replication of DNA: A History of «The Most Beautiful Experiment in Biology»* (Yale University Press, New Haven 2001).

101. Esta carta se reproduce en R. Olby, *Francis Crick. Hunter of Life's Secrets*, *op. cit.* 175-177, y en facsímil en J. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, *op. cit.*, pp. 258-264.

102. Las cartas de Pauling que cito a continuación se reproducen en scarc.library. oregonstate.edu/coll/Pauling.

103. Datos tomados de Robert Olby, «Quiet debut for the double helix», *Nature 421*, 402-405 (2003).

104. Reproducida en *What a Time I am Having. Selected Letters of Max Perutz*, Vivien Perutz, ed. (Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, New York 2008), pp. 243-245.

105. Reproducida en James D. Watson, *Genes, chicas y laboratorios* (Tusquets, Barcelona 2006; edición original en inglés de 2001), pp. 339-342; cita en p. 381.

106. James D. Watson, *op. cit.*, *Genes, chicas y laboratorios*, p. 96.

107. Una posibilidad es que Watson tuviera en mente dos libros cuyos enfoques, pensaba, tenían algo que ver con el suyo: *Lord Jim* de Joseph Conrad, y *Lucky Jim* de Kingsley Amis. La historia de cómo se gestó el libro se describe en el apéndice 4 de J. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, *op. cit.*

108. *Ibid.*, p. 10.

109. Peter Medawar, «Lucky Jim», *New York Review of Books*, 28 de marzo de 1968, p. 8.

110. J. Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, *op. cit.*, pp. 285-286.

111. Joseph S. Fruton, *A Skeptical Biochemist*, Harvard University Press (Cambridge, Mass. 1992), pp. 224-225.

112. Torbjörn Caspersson y Jack Schultz, «Pentose nucleotides in the cytoplasm of growing tissues», *Nature 143*, 602-603 (1939); Torbjörn Caspersson, «Nukleinsaureketten und Genvermehrung», *Chromosoma 1*, 605-619 (1940); Jean Brachet, «La localization des acides pentosenucléiques dans les tissus animaux et les oeufs d'amphibiens en voie de development», *Archives de Biologie 53*, 207-257 (1942).

113. Heinz Fraenkel-Conrat, «The role of the nucleic acid in the reconstitution of active Tobacco Mosaic Virus», *Journal of the American Chemical Society 78*, 882-883 (1956); H. Fraenkel-Conrat, B. Singer y R. C. Williams, «Infectivity of virus nucleic acid», *Biochimica et Biophysica Acta 25*, 87-96 (1957).

114. J. Watson, *ADN, el secreto de la vida*, *op. cit.*, p. 69.

115. Francis H. Crick, «On protein synthesis», *Symposia of the Society for Experimental Biology 12*, 138-163 (1958).

116. He utilizado la presentación de José A. Melero, «ADN ↔ ARN → Proteína (El Dogma Central de la Biología Molecular)», en P. García Barreno, ed., *Cincuenta años de ADN. La doble hélice*, *op. cit.*, pp. 123-147; pp. 133-134.

117. David Baltimore, «RNA-dependent DNA polymerase in virions of RNA tumour viruses», *Nature 226*, 1209-1211 (2970); Howard M. Temin y Satoshi Mizutani, «RNA-dependent DNA polymerase in virions of Rous sarcoma virus», *Nature 226*, 1211-1213 (1970).

118. Dulbecco emigró a Estados Unidos en 1946, a la Universidad de Indiana, junto a Salvador Luria. En 1972 se trasladó a Londres, para trabajar en el Imperial Cancer Research Fund, y en 1977 regresó a Estados Unidos —país cuya ciudadanía adoptó en 1953—, al Salk Institute de California (del que ya había sido miembro antes).

119. Acerca de la biografía de Baltimore, véase Shane Crotty, *Ahead of the Curve. David Baltimore's Life in Science* (University of California Press, Berkeley 2001).

120. La revisión del «Dogma» aparece en Francis Crick, «Central Dogma of molecular biology», *Nature 227*, 461-563 (8 de agosto de 1970).

121. S. Brenner, F. Jacob y M. Meselson, «An unstable intermediate carrying information from genes to ribosomes for protein synthesis», *Nature 190*, 576-581 (1961).

122. Arthur Kornberg, «Pathways of enzymatic synthesis of nucleotides and polynucleotides», en *The Chemical Basis of Heredity*, W. D. McElroy y B. Glass, eds. (Johns Hopkins University Press, Baltimore 1957), pp. 579-608; «Biological Synthesis of deoxyribonucleic acid», *Science 131*, 1503-1508 (1960); «The active center of DNA polymerase», *Science 163*, 1410-1418 (1969).

123. En 1945, bajo la dirección de Ochoa, Kornberg participó en la purificación de dos enzimas esenciales para el metabolismo energético central.

124. Estrictamente, la comunicación de la Fundación Nobel señalaba que se les había concedido «por su descubrimiento de los mecanismos en la síntesis del ácido ribonucleico y del ácido desoxirribonucleico».

125. Marianne Grunberg-Manago y Severo Ochoa, «Enzymatic síntesis and breakdown of polynucleotides, polynucleotide phospjorylase», *Journal of the American Chemical Society 77*, 3165-3166 (1955); Marianne Grunberg-Manago, Priscilla J. Ortiz y Severo Ochoa, «Enzymatic synthesis of nucleic acidlike polynucleotides», *Science 122*, 907-910 (1955). Sobre Ochoa, véase María Jesús Santesmases, *Severo Ochoa. De músculos a proteínas* (Editorial Síntesis, Madrid 2005).

126. Severo Ochoa, «The pursuit of a hobby», *Annual Review of Biochemistry 49*, 1-30 (1980). He utilizado la reimpresión que aparece en *The Excitement and Fascination of Science: Reflections by Eminent Scientists*, vol. 3, parte 1, Joshua Lederberg, comp. (Annual Reviews Inc., Palo Alto 1990), pp. 291-320; p. 292.

127. María Jesús Santesmases, «El legado de Cajal frente al de Albareda: las ciencias biológicas en los primeros años del CSIC y los orígenes del CIB», *Arbor*, *n.° 631-632* (julio-agosto de 1998), 305-332; 313. Véase, asimismo, José Manuel Sánchez Ron, *El Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Una ventana al conocimiento (1939-2014)* (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 2021), cap. 8.

128. Pedro Laín Entralgo, *Descargo de conciencia (1930-1960)* (Barral Editores, Barcelona 1976), p. 284.

129. Sobre la bioquímica y biología molecular en España, incluyendo la creación (en 1963) de una Sociedad Española de Bioquímica, véase María Jesús Santesmases y Emilio Muñoz, *Establecimiento de la bioquímica y de la biología molecular en España (1940-1970)* (Fundación Ramón Areces, Madrid 1997).

130. Citado en Susan Wright, *Molecular Politics* (The University of Chicago Press, Chicago 1994), p. 68.

131. B. Weiss y C. C. Richardson, «Enzymatic breakage and joining of deoxyribonucleic acid, I, Repair of single-strand breaks in DNA by an enzyme system from *Escherichia coli* infected with T4 bacteriophage», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 57*, 1021-1028 (1967). Véase también M. Gellert, J. W. Little, K. Oshinsky y S. B. Zimmerman, «Joining of DNA strands by DNA ligase of *E. coli*», *Cold Spring Harbor Symposium 31*, 21-25 (1968); I. R. Lehman, «DNA ligase: structure, mechanism, and function», *Science 186*, 790-797 (1974).

132. S. Linn y W. Arber, «Host specificity of DNA produced by *Escherichia coli*, X. *In vitro* restriction of phage fd replicative form», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 59*, 1300-1306 (1968).

133. H. O. Smith y K. W. Wilcox, «A restriction enzyme from *Hemophilus influenzae*, I. Purification and general properties», *Journal of Molecular Biology 51*, 379-391 (1970).

134. K. Danna y D. Nathans, «Specific cleavage of simian virus 40 DNA by restriction endonuclease of *Hemophilus influenzae*», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 68*, 2913-2917 (1971).

135. J. E. Mertz y R. W. Davies, «Cleavage of DNA by RI restriction endonuclease generates cohesive ends», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 69*, 3370-3374 (1972).

136. S. Cohen, A. Chang, H. Boyer y R. Helling, «Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A. 70*, 3240-3244 (1973).

137. Citado en John Lear, *Recombinant DNA: The Untold Story* (Crown, Nueva York 1978), pp. 87-88.

138. James D. Watson y John Tooze, *The DNA Story. A Documentary History of Gene Cloning* (W. H. Freeman and Co., San Francisco 1981), p. 2. Las circunstancias que condujeron a las reuniones de las que trataré a continuación se explican en S. Crotty, *Ahead of the Curve*, *op. cit.*, cap. 6.

139. Sydney Brenner, *My Life in Science* (BioMed Central Limited, Londres 2001), p. 150.

140. Paul Berg, David Baltimore, Herbert W. Boyer, Stanley N. Cohen, Ronald W. Davis, David S. Hogness, Daniel Nathans, Richard Roblin, James D. Watson, Sherman Weissman y Norton D. Zinder, «Potential biohazards of recombinant DNA molecules», *Nature 250*, 175 (1974).

141. El propio Berg así lo manifestaba también en sus declaraciones a la prensa. En, por ejemplo, *The Washington Post* del 18 de julio de 1974 se le adjudicaban las siguientes palabras: «Ésta es la primera vez que científicos que trabajan activamente en un campo han pedido que se introduzcan limitaciones voluntarias en su investigación». Por cierto, ese mismo día y el mismo periódico publicaba una interesante nota titulada «La conciencia científica», en la que se lee: «Desde Hiroshima, los científicos han estado preocupados por si investigar los secretos de la naturaleza sin tomar ninguna precaución o sin ninguna limitación moral pudiera abrir una caja de truenos, si no de desastres, de Pandora, que pudiese producir un daño terrible. Pero ¿quién es el guardián de las llaves? ¿Quién puede presumir de poseer la sabiduría para decidir qué secretos se pueden desvelar y cuáles es mejor no conocer? La naturaleza no sabe de bueno ni de malo. El mismo descubrimiento o intervención que puede producir daño, puede también traer bendiciones. La investigación y experimentación científica no es, sin duda, un asunto para que lo controle la policía. Lo mejor que podemos desear es que sea la conciencia colectiva de los propios científicos la que valore los riesgos en cada momento». Una vez más, la cuestión de la ambivalencia de la ciencia.

142. Nicholas Wade, «Recombinant DNA at White House», *Science 193*, 468 (1976); reproducido en J. D. Watson y J. Tooze, *The DNA Story. A Documentary History of Gene Cloning*, *op. cit.*, p. 143. En este libro se pueden encontrar múltiples referencias sobre las discusiones que se produjeron.

143. Sobre el caso Chakrabarty, véase Daniel J. Kevles, «Diamond *v*. Chakrabarty and beyond: the political economy of patenting life», en *Private Science. Biotechnology and the Rise of the Molecular Sciences*, Arnold Thackray, ed. (University of Pennsylvania Press, Filadelfia 1998), pp. 65-79.

144. Citado en Eric Grace, *La biotecnología al desnudo* (Anagrama, Barcelona 1998), p. 88.

145. Ver, por ejemplo, *Science and Engineering Indicators 2002* (National Science Foundation, Washington D. C. 2002), vol. I, pp. 6-27.

146. Un magnífico estudio sobre el desarrollo de la PCR es el libro de Paul Rabinow, *Making PCR. A Story of Biotechnology* (The University of Chicago Press, Chicago 1996).

147. Entre 1984 y 1985, dos grupos de Cetus trabajaron en la PCR.

148. Kary Mullis, F. Faloona, S. Scharf, R. Saiki, G. Horn y H. Erlich, «Specific enzymatic amplification of DNA *in vitro*: the polymerase chain reaction», *Cold Spring Harbor Symposium in Quantitative Biology 51*, 263-273 (1986). Sin embargo, el primer artículo no fue éste (para disgusto de Mullis), sino uno firmado por los componentes del grupo de Cetus, centrado en las aplicaciones: Randall K. Saiki, Stephen Scharf, Fred Faloona, Kary B. Mullis, GlennT. Horn, Henry A. Erlich y Norman Arnheim, «Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnostic of sickle cell anemia», *Science 230*, 1350-1354 (1985).

149. Tras *n* ciclos de replicación, el rendimiento del proceso será de 2^n; esto es, a partir de una molécula de ADN se pueden obtener 10^9 moléculas con 30 ciclos.

150. Fred Sanger, «The amino acids of insulin», *Biochemical Journal 39*, 507-515 (1945); «The arrangement of amino acids in proteins», *Advances in Protein Chemistry 7*, 7-67 (1952). Sobre Sanger, véase George G. Brownlee, *Fred Sanger, Double Nobel Laureate. A Biography* (Cambridge University Press, Cambridge 2014).

151. Fred Sanger, «Reading the messages in the genes», *The New Scientist* (21 de mayo de 1987), pp. 60-62; p. 61.

152. Edwin Southern, «Foreword», en G. G. Brownlee, *Fred Sanger, Double Nobel Laureate. A Biography*, *op. cit.*, p. xv.

153. F. Sanger, J. E. Donelson, A. R. Coulson, H. Kössel y D. Fischer, «Use of DNA polymerase primed by a synthetic oligonucleotide to determine a nucleotide sequence of phage f1 DNA», *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 70*, 1209-1213 (1977); F. Sanger, G. M. Air, B. G. Barrell, N. L. Brown, A. R. Coulson, J. C. Fiddes, C. A. Hutchinson, P. M. Slocombe y M. Smith, «Nucleotide sequence of bacteriophage φX174 DNA», *Nature 265*, 687-695 (1977).

154. W. Gilbert y A. Maxam, «The nucleotide sequence of the *Lac* operator», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *U. S. A. 70*, 3581-3584 (1973).

155. Sobre Venter, véase su autobiografía: J. Craig Venter, *A Life Decoded. My Genome: My Life* (Viking, Nueva York 2007).

156. Para la historia de las técnicas de secuenciación, véase Miguel García-Sancho, *Biology, Computing, ad the History of Molecular Sequencing. From Proteins to DNA*, *1945-2000* (Palgrave, Houndmills 2012).

157. Mark D. Adams *et al.*, «The genome sequence of *Drosophila melanogaster*», *Science 287*, 2185-2195 (2000).

158. International Human Genome Sequencing Consortium, «Finishing the euchromatic sequence of the human genome», *Nature 431*, 931-945 (2004).

159. International Human Genome Sequencing Consortium, «Initial sequencing and analysis of the human genome», *Nature 409*, 860-921 (15 de febrero de 2001). La lista (incompleta) de autores de este artículo ocupaba una página de *Nature*; es obligado mencionar entre ellos los nombres de Eric Lander (Whitehead Institute for Biomedical Research, Center for Genome Research), John Sulston (The Sanger Centre, Cambridge) y Robert Waterston (Washington University Genome Sequencing Center). C. Venter *et al.*, «The sequence of the human genome», *Science 291*, 1304-1351 (2001). El artículo del Proyecto Genoma Humano aparece reproducido en su totalidad en *The Human Genome*, Carina Dennis y Richard Gallagher, eds. (Nature-Palgrave, Londres 2001).

160. Bill Clinton, *My Life* (Alfred A. Knopf, Nueva York 2004), pp. 788-789.

161. Bill Clinton, *My Life*, *op. cit.*, p. 910.

162. Véase: http://www.businessweek.com/bwdaily/dnflash/apr2000/nf00407e.htm.

163. El texto de esta intervención de Craig Venter se puede consultar en http://energycommerce.house.gov/107/hearings/07112001Hearing322/Venter520.htm.

164. Daniel G. Gibson *et al.*, «Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a *Mycoplasma genitalium* genome», *Science 319*, 1215-1220 (2008).

165. Daniel G. Gibson *et al.*, «Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome», *Science 329*, 52-56 (2010).

166. J. Craig Venter, *Life at the Speed of Light. From the Double Helix to the Dawn of Digital Life* (Viking, Nueva York 2013), p. 126.

167. La biografía y obra de Cavalli-Sforza se estudia en Linda Stone y Paul F. Lurquin, *A Genetic and Cultural Odyssey. The Life and Work of L. Luca Cavalli-Sforza* (Columbia University Press, Nueva York 2005).

168. G. H. Hardy, «Mendelian proportions in a mixed population», *Science 28*, 4950 (1908).

169. Wilhelm Weinberg, «Über den Nachweis der Vererbung beim Menschen», *Jahreshefte des Vereins für Vaterländische Naturkunde in Württemberg 64*, 369-382 (1908).

170. Luigi Luca Cavalli-Sforza, *Genes, pueblos y lenguas* (Crítica, Barcelona 1996; edición original en italiano de 1996), p. 44.

171. Luigi Luca Cavalli-Sforza, *Genes, pueblos y lenguas*, *op. cit.*, pp. 27-29.

172. *Ibid.*, pp. 154-155.

173. El tope de 100.000 años puede ampliarse sustancialmente, al menos en lo que se refiere a datos genéticos, gracias a las investigaciones del genetista sueco Svante Päabo (n. 1955), director del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva de Leipzig y uno de los fundadores de la paleogenética. Päabo desarrolló métodos precisos para el estudio del ADN antiguo que permiten recuperar y analizar el genoma de especies desaparecidas hace cientos de miles de años. En 1997, Päabo y sus colaboradores dieron a conocer que habían secuenciado el ADN mitocondrial de un neandertal: M. Krings, A. Stone, Rw. Schmitz, H. Krainitzki, M. Stoneking y S. Päabo, «Neandertal DNA sequences and the origin of modern humans», *Cell 90*, 19-30 (1997). Lo que encontró es que el genoma de los humanos actuales contiene en torno al 2 % (hoy se estima que puede llegar el 4 %) de genes de neandertales; de hecho, y como no todos los humanos conservan los mismos fragmentos genéticos de neandertales, si se reúne un grupo numeroso de humanos, es posible encontrar en el conjunto entre el 35 y el 70 % del genoma neandertal. En otras palabras, neandertales y *Homo sapiens* mantuvieron relaciones sexuales fértiles. Él mismo explicó sus métodos y trabajos en *El hombre de Neandertal. En busca de genomas perdidos* (Alianza Editorial, Madrid 2015; edición original en inglés de 2014).

174. A. Paul Alivisatos, Miyoung Chun, George M. Church, Ralph J. Greenspan, Michael L. Roukes y Rafael Yuste, «The Brain Activity Map Project and the Challenge of Functional Connectomics», *Neuron 74*, 970-974.

175. Yoshizumi Ishino, H. Shinagawa, K. Makino, M. Amemura y A. Nakata, «Nucleotide sequence of the iap gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in Escherichia coli, and identification of the gene product», *Journal of Bacteriology 169*, 5429-5433 (1987).

176. Una exposición muy completa de la «revolución CRISPR» se encuentra en Walter Isaacson, *El código de la vida. Jennifer Doudna, la edición genética y el futuro de la especie humana* (Debate, Barcelona 2021).

177. Francisco Mojica, C. Ferrer, G. Juez y F. Rodríguez-Valera, «Long stretches of short tandem repeats are present in the largest replicons of the archae *Haloferax mediterranei* and *Haloferax volcanii* and could be involved in replicon partitioning», *Journal of Molecular Microbiology 17*, 85-93 (1995).

178. Francisco J. Mojica, César Díez-Villaseñor, Jesús García-Martínez y Elena Soria, «Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats from foreign genetic elements», *Journal of Molecular Evolution 60*, 174-182 (2005).

179. Martin Jinek, Krzysztof Chylinski, Ines Fonfara, Michael Hauer, Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier, « A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity», *Science 337*, 816-821 (2012).

180. Eric S. Lander, «The heroes of CRISPR», *Cell 164,* 18-28 (2016).

181. Merece la pena citar también otros pasajes del artículo de Lander: «La historia de CRISPR es rica en lecciones sobre el ecosistema humano que produce avances científicos que son relevantes para agencias que financian la investigación, el público general e investigadores ambiciosos. La más importante es que los avances más rompedores a menudo surgen de orígenes completamente impredecibles. Los primeros héroes de CRISPR no buscaban una forma de editar el genoma humano, ni siquiera estudiar una enfermedad humana. Sus motivaciones eran una mezcla de curiosidad personal (comprender las extrañas secuencias repetidas en microbios tolerantes a la sal), exigencias militares (defenderse contra la guerra biológica) o aplicaciones industriales (mejorar la producción de yogur)».

182. Jennifer A. Doudna y Samuel H. Sternberg, *Una grieta en la creación. CRISPR, la edición génica y el increíble poder de controlar la evolución* (Alianza Editorial, Madrid 2020; edición original en inglés de 2017), pp. 14-17.

183. Walter Isaacson, *El código de la vida. Jennifer Doudna, la edición genética y el futuro de la especie humana* (Debate, Barcelona 2021), p. 343.

184. Pocos días después del anuncio proveniente de China, se supo que en Brasil había nacido un bebé desarrollado en un útero procedente de una donante fallecida, lo que, se declaró, «podría aumentar las opciones de concebir para las mujeres con problemas de fertilidad uterina». Con anterioridad se había intentado lo mismo, sin éxito, en diez casos, en centros de Estados Unidos, la República Checa y Turquía. Un problema es que aún no se sabe mucho sobre las diferencias —sobre las futuras repercusiones para los nacidos así — entre los trasplantes de útero procedentes de donantes vivos y fallecidos. ¿Son diferentes los criterios seguidos en la comunidad médica que en la biológica molecular?

185. W. Isaacson, *El código de la vida. Jennifer Doudna, la edición genética y el futuro de la especie humana*, *op. cit.*, p. 377.

186. J. A. Doudna y S. H. Sternberg, *Una grieta en la creación. CRISPR*, *op. cit*, pp. 316-317.

187. J. Watson, «Implicaciones éticas del Proyecto del Genoma Humano», reproducida en J. Watson, *Pasión por el ADN* (Crítica, Barcelona 2002), pp. 214-223; p. 220.

188. Escribo estas líneas en plena pandemia causada por el virus SARS-CoV-2, identificado, parece, en diciembre de 2019 en la ciudad china de Wuhan. Al margen de las medidas de confinamiento e higiénicas tomadas, es preciso destacar otras dos que también se han tomado para combatir la pandemia. La primera, identificar la presencia o no del virus en una persona utilizando la técnica PCR, mucho más fiable que la prueba de antígenos, que identifica la presencia de proteínas del virus. La segunda medida, terapéutica y por consiguiente más importante, es la de las vacunas que se han desarrollado para combatir el virus. Algunas de ellas son de un tipo nuevo, vacunas genéticas, que sustituyen a las tradicionales que estimulaban el sistema inmunitario introduciendo versiones debilitadas o desactivadas del virus potencialmente agresor. En las del nuevo tipo el protagonista principal es el ARN, el material genético responsable de la síntesis de las proteínas. El «truco» consiste en diseñar un ARN mensajero que, una vez inyectado en el cuerpo de una persona, produce una proteína que enseña al sistema inmunitario a tolerar ciertas estructuras (el coronavirus en este caso) produciendo un efecto terapéutico en el organismo.

1. El 21 de mayo de 2019, el Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno, de la Subcomisión de Estratigrafía Cuaternaria de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, votó a favor (29 frente a 4) de que se incluyera el término «Antropoceno» como «unidad formal crono-estratigráfica» para describir el intervalo de tiempo durante el cual las acciones humanas han tenido efectos drásticos sobre la Tierra y sus ecosistemas. Todavía queda el dictamen final de la Comisión Internacional de Estratigrafía para que «Antropoceno» pase a formar parte de la nomenclatura geológica oficial.

2. Alfred Wegener, «Die Entstehung der Kontinente«, *Geologische Rundschau 3*, 276-292 (1912). A la primera edición de *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* siguió una segunda, revisada, en 1920; después llegaron ediciones en 1922 y la cuarta y final en 1929. En 1924 fue traducido al francés, español e inglés, en 1925 al ruso, en 1926 al sueco y en 1942 al italiano. Para la biografía de Wegener, véase Martin Schwarzschild, *Alfred Wegener. The Father of Continental Drift Science* (Tech., Madison 1986; edición original en alemán de 1980) y Mott T. Greene, *Alfred Wegener: Science, Exploration, and the Theory of Contiental Drift* (Johns Hopkins University Press, Baltimore 1915).

3. Véase, por ejemplo, Naomi Oreskes, «From continental drift to plate tectonics», en Naomi Oreskes, ed., *Plate Tectonics. An Insider's History of the Modern Theory of the Earth* (Westview Press, Boulder 1903), pp. 3-27; y Cándido Manuel García Cruz, «Más allá de la geografía especulativa: orígenes de la deriva continental», *Llull 26*, 83-107 (2003). Aunque ya superados, constituyen una buena introducción los libros de Anthony Hallam, *A Revolution in the Earth Sciences: from Continental Drift to Plate Tectonics* (Claredon Press, Oxford 1973) y *Grandes controversias geológicas* (Labor, Barcelona 1985; edición original en inglés de 1983).

4. F. B. Taylor, «Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan», *Bulletin of the Geological Society of America 21*, 179-226 (1910).

5. A. C. Lane, «Frank Bursley Taylor (1860-1938)», *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences 75*, 176-178 (1944), p. 177.

6. Arthur Holmes, *Principles of Physical Geology* (Thomas Nelson and Sons, Londres 1944), pp. 491-492. En su libro *The Age of the Earth* (1913), Holmes estimó que las rocas terrestres más antiguas tenían 1.700 millones de años de edad.

7. El geofísico, matemático, estadístico y astrónomo Harold Jeffreys (1891-1989), *reader* de Geofísica en Cambridge desde 1931 y desde 1946 *Plumian professor* de Astronomía, sostenía que la propagación de ondas sísmicas indicaba que el interior de la Tierra era sólido y rígido, lo que hacía imposible que los continentes se moviesen. En su influyente libro *The Earth: Its Origin* (Cambridge University Press, Cambridge 1924; 3.ª edición de 1952, p. 229) señalaba como argumento en contra de Wegener que «era sobre todo un meteorólogo», una «acusación» que todavía mantenían algunos muchos años después, como el paleontólogo George Gaylord Simpson (1902-1984) quien manifestaba que «la mayor parte de las supuestas evidencias paleontológicas y biológicas» de Wegener eran o bien «equívocas» o «simplemente falsas», añadiendo que Wegener era «un meteorólogo alemán» que se atrevió a aventurarse en campos con los que «no estaba familiarizado directamente»; G. G. Simpson, *Concession to the Improbable* (Yale University Press, New Haven 1978), p. 272.

8. Alfred Wegener, *El origen de los continentes y océanos* (Crítica, Barcelona 1909), p. 85. Según Lauge Koch, que le acompañó en sus expediciones a Groenlandia, también le influyó la observación de cómo se rompían las placas de hielo y se separaban en el mar.

9. Alfred Wegener, *El origen de los continentes y océanos*, *op. cit.*, p. 88.

10. *Ibid.*, pp. 89-90.

11. A. Wegener, *El origen de los continentes y océanos*, *op. cit.*, p. 284.

12. A. Holmes, *Principles of Physical Geology*, *op. cit.*, pp. 508-509.

13. Naomi Oreskes, *Science on a Mission* (The University of Chicago Press, Chicago 1921), p. 3.

14. La Institución Oceanográfica de Woods Hole se fundó en 1930 como resultado de la recomendación de una comisión de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. La Institución Scripps de Oceanografía fue creada en 1903 como el laboratorio de la Asociación de Biología Marina de San Diego; en 1912 pasó a formar parte de la Universidad de California, con el nombre de Institución Scripps de Investigación Biológica, que adoptó el nombre de Institución Scripps de Oceanografía en 1925. Edward Willis Scripps (1854-1926) fue un editor de periódicos (entre sus creaciones se encuentra la United Press Association) y un filántropo.

15. Los trabajos relativos a la medición de la temperatura de los océanos —que se llevaron a cabo en Scripps y Woods Hole— tenían un claro interés militar, pues la velocidad del sonido en el agua depende de la temperatura de ésta; durante la Guerra Fría, Estados Unidos desarrolló un programa secreto de vigilancia de los submarinos soviéticos (SOSUS, de SOund SUrveilllancce System), Si los océanos se estaban calentando entonces la velocidad del sonido allí aumentaría, algo relevante no sólo para las transmisiones submarinas, sino también para la utilización de la tomografía acústica oceánica —«tomográfica» porque creaba una imagen utilizando secciones» verticales de columnas de agua—, desarrollada en la década de 1970 por Walter Munk y Carl Wunsch («Ocean acustic tomography», *Deep Sea Research 26 A*, 123-161 [1979] y «Ocean acustic tomography: A scheme for large scale monotoring», *Deep Sea Research 26 A*, 439-464 [1979]). La Oficina de Investigación Naval apoyó estos proyectos (en 1980, Woods Hole recibía 1,5 millones de dólares anuales de esta Oficina). Habida cuenta de que el agua cubre una gran parte de la superficie terrestre (alrededor del 70 %), los resultados de este programa fueron también relevantes para los trabajos relacionados con el cambio climático, al que está dedicada la siguiente sección de este capítulo. Para más información sobre estos temas, véase Naomi Oreskes, «Changing the mission: from the Cold War to climate change», en Naomi Oreskes y John Krige, eds., *Science and Technology in the Global Cold War* (The MIT Press, Cambridge, Mass. 1914), pp. 141-187.

16. P. M. S. Blackett, «The magnetic field of massive rotating bodies», *Nature 159*, 658-666 (1947) y «A negative experiment relating to magnetism and the earth's rotation», *Philosophical Transactions of the Royal Society A 245*, 309-370 (1952); P. M. S. Blackett, J. A. M. Clegg y P. H. S. Stubbs, «An analysis of rock magnetic data», *Proceedings of the Royal Society of London A 256*, 291-322. Stanley Keith Runcorn, «Paleomagnetic comparisons between Europe and North America», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A 258*, 1-11 (1965). Sobre estos trabajos de Blackett, véase Mary Jo Nye, «Temptations of theory, strategies of evidence: P. M. Blackett and the earth's magnetism, 1947-52», *British Journal for the History of Science 32*, 69-92 (1999). Los trabajos que cito en esta nota y en las que siguen son representativos, pero en modo alguno ofrecen información completa de las aportaciones de los científicos mencionados; para más información véanse los diferentes capítulos incluidos en N. Oreskes, ed., *Plate Tectonics. An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, *op. cit.*, y N. Oreskes, *Science on a Mission*, *op. cit.* Otra Fuente relevante es la selección de artículos de *Scientific American* recogida en *Deriva continental y Tectónica de Placas*, 2.ª edición (Editorial Blume, Madrid 1978; versión original en inglés).

17. Walter Elsasser, «On the origin of Earth's magnetic field», *Physical Review 55*, 489 (1939). En su autobiografía, Elsasser explicó de la manera siguiente sus trabajos: «Cuando, hacia 1940, me impliqué profundamente en el problema del magnetismo terrestre, estaba convencido de que era pionero, pues no existía literatura teórica en este campo. Desde el principio pasé bastante tiempo estudiando muchos modelos que pudieran utilizarse para explicar el campo magnético de la Tierra. El resultado fue claro. No existía ningún modelo que remotamente diera una magnitud numérica adecuada (dentro de factores de, digamos, cien o mil) excepto un modelo de dinamo, y éste daba resultados correctos. Desarrollé entonces una estrategia que permitiría atacar el problema en dos pasos. El primero consistía en suponer un campo magnético constante principal dado y calcular cómo los movimientos, especialmente los de tipo remolino, del fluido conductor del núcleo podrían modificar este campo. Este enfoque fue adoptado independientemente, un poco más tarde, por el geofísico británico E. Bullard»; Walter Elsasser, *Memoirs of a Physicist in the Atomic Age* (Science History Publications, Nueva York 1978), pp. 227-228. E. C. Bullard, «The flow of heat through the floor of the Atlantic Ocean», *Proceedings of the Royal Society A 222*, 408-429 (1954). Durante la Segunda Guerra Mundial, Bullard se había ocupado de las minas magnéticas y de la desmagnetización de navíos, lo que le condujo después de la guerra a dedicarse al geomagnetismo.

18. Maurice Ewing, «Gravity measurements on the USS *Barracuda*», *Transactions of the American Geophysical Union 18*, 66-69 (1937), Maurice Ewing, A. P. Crary y H. M. Rutherford, «Geophysical investigations in the emerged and submerged Atlantic coastal plain, Part I: Methods and results», *Bulletin of the Geological Society of America 48*, 753-802 (1937); B. C. Heezen, «Geologie sous-marine et deplacements des continents», en *La topographie et la geologie des profondeurs oceaniques* (Centre National de la Recherche Scientifique, París 1959), pp. 295-304.

19. De las numerosas publicaciones de Felix A. V. Meinesz, véase, por ejemplo, «Gravity over the continental edges», *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences. Amsterdam 44*, n.º 8 (1941); Harry H. Hess, «Geological hypothesis and the Earth's crust under the oceans», en *A Discussion on the Floor of the Atlantic Ocean. Proceedings of the Royal Society of London A 222*, 341-348 (1954).

20. Harry H. Hess, «The history of ocean basins», en *Petrological Studies: A Volume to Honor A. F. Buddington*, A. E. J. Engel, Harold L. James, y B. F. Leonard, eds. (Geological Society of America, Nueva York 1962), pp. 599-620.

21. F. J. Vine y D. H. Matthews, «Magnetic anomalies over ocean ridges», *Nature 199*, 947-949 (1963).

22. Es interesante mencionar algo que explicó Morley referente a su educación y a las dificultades que entonces los geólogos tenían con la física. Morley comenzó a estudiar matemáticas y física en 1938, pero enseguida, en su segundo año, pasó a cursar física y geología. «Pronto me di cuenta», señalaba (Lawrence W. Morley, «The zebra pattern», en N. Oreskes, ed., *Plate Tectonics. op. cit.*, pp. 67-85; en p. 68-69), que «este curso pretendía ser un experimento interdisciplinar y que solamente nos habíamos matriculado dos estudiantes, habiendo existido únicamente un estudiante graduado en los últimos seis años, J. Tuzo Wilson, que después fue mi supervisor de tesis y uno de los miembros del grupo que produjo la teoría y el nombre de *tectónica de placas*». También se dio cuenta enseguida del «gran golfo que existía entonces entre la mente de un geólogo y la de los físicos. Éstos consideraban inferior a la geología, viéndola como un campo descriptivo y cualitativo que no era realmente una ciencia, y los geólogos pensaban que los físicos eran "cabezas de huevo" que no vivían en el mundo real. No hace falta decir que los dos grupos tenían dificultades para comunicarse profesionalmente entre sí. El curso de física y geología fue establecido de manera que la mitad de mis clases se daban en el Departamento de Geología y la otra mitad en el Departamento de Física. Pasarían algunos años hasta que me diese cuenta de cómo unir ambos campos, tan diferentes eran sus culturas. A lo largo de mi carrera, este entrenamiento interdisciplinar me proporcionó el hábito de leer la nueva bibliografía de ambas disciplinas, algo que, me doy cuenta retrospectivamente, me permitió idear la hipótesis que explicaría la configuración cebra». La «configuración cebra» a la que se refería es la alternancia del sentido de la imanación remanente en las rocas que aparecen en las fronteras que separan placas tectónicas.

23. J. Tuzo Wilson, «A new class of faults and their bearing on continental drift», *Nature 207*, 343-347 (1965.

24. Los datos que ofrezco aquí sobre el desarrollo de la teoría de la tectónica de placas son muy fragmentarios. Para más información, consultar, por ejemplo, el magnífico resumen de Frankel (2009).

25. Louis Agassiz, «Discours prononcé à l'ouverture des séances de la Société Helvétique des Sciences naturelles», en *Actes de la Societé Helvétique des Sciences naturelles II*, v-xxxii (julio de 1837); este discurso se reproduce también en Jules Marcou, *Life, Letters, and Works of Louis Agassiz* (Macmillan, Nueva York 1896), vol. II, pp. 89-108. Sobre Agassiz, véase Edward Lurie, *Louis Agassiz. A Life in Science* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 1988; primera edición de 1960).

26. Véase Brian Fagan, *La pequeña Edad de Hielo* (Gedisa, Barcelona 2008; edición original en inglés de 2000).

27. Una introducción general al cambio climático se encuentra en John Houghton, *Global Warming. The Complete Briefing* (Cambridge University Press, Cambridge 2004).

28. El efecto invernadero no es exclusivo de la Tierra. En uno de los capítulos —«El balance de radiación de Venus»— de su tesis doctoral (1960), titulada *Physical Studies of Planets* (*Estudios físicos de planetas*), Carl Sagan (1934-1996) desveló que en Venus existía un efecto invernadero. Los radiotelescopios habían mostrado por entonces que Venus emitía una cantidad muy alta de ondas radio y Sagan señaló que ello se debía a que su superficie estaba muy caliente, argumentando que un efecto invernadero que implicase masivas cantidades de dióxido de carbono y pequeñas de vapor de agua explicaría semejantes temperaturas. El vehículo espacial soviético *Venera IV* en 1967 y las dos sondas estadounidenses *Pioneer Venus*, lanzadas en 1978, confirmaron sus ideas. (Los otros capítulos de la tesis de Sagan estaban dedicados a «Materia orgánica indígena en la Luna», «Contaminación biológica de la Luna» y «Producción de moléculas orgánicas en atmósferas planetarias: un informe preliminar».) La biografía y contribuciones de Sagan se tratan en William Poundstone, *A Life in the Cosmos Carl Sagan* (Henry Holt, Nueva York 1999).

29. El conocimiento de la fotosíntesis se inició con el aislamiento en 1817 por los químicos Pierre Joseph Pelletier y Joseph Bienaimé Caventou del pigmento verde de las hojas de las plantas, al que llamaron «clorofila» (del griego *chloros*, «verde», y *fýlon*, «hoja»). En 1845, Robert Mayer demostró que la energía procedente de la fotosíntesis era más que suficiente para garantizar el mantenimiento de la vida, y que no había por tanto necesidad de suponer la existencia de una fuerza vital. Y Julius von Sachs publicó en 1865 un *Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen* (*Manual de fisiología experimental*) en el describió la presencia de cloroplastos en el citoplasma de las plantas, hallazgo al que en 1887 añadió el de que al captar la luz solar iniciaban el proceso de la fotosíntesis. Recuérdese que la estructura química de la clorofila fue descubierta por Richard Willstätter en 1913.

30. John Tyndall, «On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connexion of radiation, absorption and conduction» (Bakerian lecture), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London 151*, 1-36; pp. 28-29 (1861). Véase, asimismo, «Further researches on the absorption and radiation of heat by gaseous matter», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London 152*, 59-98 (1862), «On radiation through the Earth's atmosphere», *Proceedings of the Royal Institution*, 200-206 (1863). Sobre Tyndal, véase Roland Jackson, *The Ascent of John Tyndall* (Oxford University Press, Oxford 2018), especialmente el capítulo 9. El descubrimiento y primeras reacciones del cambio climático se estudia en Spencer Weart, *El calentamiento global* (Laetoli, Pamplona 2006; edición original en inglés de 2003).

31. Arvid Högbom, «Om sannolikheten för sekulära forändringar I atmosfärens kolsyrehalt», *Sv. Kem. Tidskr. 5*, 169-176 (1895). Este artículo fue resultado de una conferencia que Högbom pronunció el 15 de noviembre de 1894 en la Academia de Química sueca, y en la que Arrhenius estuvo presente. El artículo no fue traducido del sueco.

32. Svante Arrhenius, «On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground», *Philosophical Magazine 41*, 237-276 (1896), p. 237. La aportación de Arrhenius al efecto invernadero se estudia en el capítulo 10 de Elisabeth Crawford, *Arrhenius. From Ionic Theory to the Greenhouse Effect* (Science History Publications, Canton, Ma. 1996)

33. Svante Arrhenius, *L'evolution des mondes* (Librairie Polytechnique Ch. Béranger, editeur, París 1910), pp. 55-57.

34. Svante Arrhenius, *L'evolution des mondes, op. cit.*, pp. 58-59.

35. G. S. Callendar, «The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature», *Quarterly Journal Royal Meteorological Society 64*, 223-240 (1938).

36. S. Weart, *El calentamiento global*, *op. cit.*, p. 40.

37. Roger Revelle y Hans E. Suess, «Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO_2 during the past decades», *Tellus 9*, 18-27 (1957).

38. Los resultados de Revelle y Keeling terminaron llegando (con indudable retraso) al gran público a través del libro de Al Gore, vicepresidente de Estados Unidos con Bill Clinton: *An Inconvenient Truth* (2006). «El profesor Revelle», se lee ahí, «fue el primer científico que propuso medir los niveles de CO_2 de la atmósfera terrestre. Él y el científico que contrató para realizar el estudio, Charles David Keeling, comenzaron a hacer medidas diarias en medio del océano Pacífico, sobre la Isla Grande de Hawái, en 1958. Después de unos pocos años, Revelle y Keeling tenían suficientes datos como para construir [un] gráfico [la curva de Keeling] que el profesor Keeling mostró en el curso al que asistí. Ya en esta temprana etapa de su experimento, estaba claro que la concentración de CO_2 estaba subiendo a un ritmo significativo en toda la atmósfera terrestre»; Al Gore, *Una verdad incómoda* (Gedisa, Barcelona 2007), p. 30.

39. S. Weart, *El calentamiento global*, *op. cit.*, p. 49.

40. En 1979, la Organización Meteorológica Mundial organizó la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, e hizo público un llamamiento a todas las naciones para «que se dieran cuenta y previnieran los cambios en el clima producidos por los humanos que pueden ser contrarios al bienestar de la humanidad».

41. Fue el meteorólogo teórico Edward Norton Lorenz (1917-2008) quien demostró en un artículo publicado en 1963 («Deterministic nonperiodic flow», *Journal of the Atmospheric Sciences 20,* 130-141) que el tiempo atmosférico se comportaba como un fenómeno caótico, siendo los sistemas (no lineales) caóticos aquellos en los que cambios muy pequeños en las condiciones iniciales producen modificaciones muy grandes en sus comportamientos, esto es, en las soluciones del sistema, una característica que resume la conocida frase: «El aleteo de una mariposa en Brasil puede producir un tornado en Texas». Graduado en el Dartmouth College en 1938, Lorenz obtuvo dos años más tarde un máster en la Universidad de Harvard, donde permaneció el curso 1941-1942, colaborando en tareas docentes matemáticas. La Segunda Guerra Mundial interrumpió su relación con Harvard. Durante la guerra sirvió en el servicio de predicción del tiempo de las Fuerzas Aéreas estadounidenses. En 1946, una vez licenciado del ejército, ingresó como estudiante de doctorado en el Departamento de Meteorología del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), donde se doctoró en 1948. Comenzó entonces su carrera académica, siempre vinculado al MIT; en 1955 fue nombrado *assistant professor* de meteorología, y en 1962 catedrático. Lorenz formó parte de los científicos que durante la segunda mitad del siglo XX transformaron la meteorología de un «arte de suposiciones» basadas en experiencias previas a una disciplina plenamente científica basada en la física y en las matemáticas. Lo que hizo posible esa transformación fue especialmente el desarrollo de los ordenadores; véase Kristine C. Harper, *Weather by the Numbers, The Genesis of Modern Meteorology* (The MIT Press, Cambridge, Mass. 2008).

42. Naomi Oreskes y Erik M. Conway, *Mercaderes de la duda* (Capitán Swing, Madrid 2018; versión original en inglés de 2011), capítulo 6.

43. En 2007 el IPCC y Al Gore recibieron el premio Nobel de la Paz.

44. Una referencia interesante, aunque claramente incompleta en lo temporal, es el libro de David G. Victor, *The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming* (Princeton University Press, Princeton 2001).

45. Barack Obama, *Una tierra prometida*, *op. cit.*, pp. 589-592.

46. La Conferencia del Clima celebrada ese mismo año en Nairobi ayudó a que se intensificase la discusión del problema del cambio climático en los medios de comunicación. Los países desarrollados pactaron allí que en el futuro reducirán un 50% sus emisiones de gases de efecto invernadero. El calendario se empezaría a discutir en un plazo de dos años y se esperaba comenzar a actuar hacia 2012, con el 2050 como horizonte para lograr esa anunciada reducción a la mitad de las emisiones.

47. Véase Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change. The Stern Review* (Cambridge University Press, Cambridge 2007).

48. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers y William W. Beherns III, *Los límites del crecimiento* (Fondo de Cultura Económica, México D. F. 1972), pp. 87, 178, 241-242.

49. Wilfred Beckerman, *Lo pequeño es estúpido* (Debate, Madrid 1996), p. 12.

50. Ezra J. Mishan (1917-2014) fue un economista inglés catedrático de Economía en la London School of Economics entre 1956 y 1977. En *The Cost of Economic Growth* argumentaba que «el crecimiento sostenido se basa en el descontento sostenido», esto es, que el crecimiento económico es compatible con la disminución del bienestar humano.

51. W. Beckerman, *Lo pequeño es estúpido, op. cit.*, p. 14.

52. Una reseña interesante del libro de Beckerman es la de Harold Lydall, «In defense of economic growth», *The Economic Journal 85*, 186-187 (1975).

53. Mihajlo Mesarovic y Eduard Pestel, *Mankind at the Turning Point* (Hutchinson, Londres 1975).

54. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows y Jørgen Randers, *Más allá de los límites del crecimiento* (El País-Aguilar, Madrid 1992), pp. 276-278.

55. Donella Meadows, Jørgen Randers y Dennis Meadows, *Los límites del crecimiento 30 años después* (Galaxia Gutenberg-Círculo de Lectores, Barcelona 2006), pp. 29-31. Meadows murió en 2001, cuando se estaba iniciando la elaboración de este informe.

56. Mediante el programa informático World 3 se publicaron y analizaron, en el primer informe, doce proyecciones coherentes de la evolución mundial entre 1900 y 2100. Una versión ligeramente mejorada de este programa permitió presentar en el segundo informe 14 proyecciones. El modelo se volvió a actualizar para su utilización en el tercer informe. Para más detalles sobre estas actualizaciones, véase D. Meadows, J. Randers y D. Meadows, *Los límites del crecimiento 30 años después, op. cit.* pp. 441-446.

57. Merece recordar también lo que pensaba el médico, nutriólogo y gran estudioso del hambre en el mundo, el brasileño Josué de Castro (1908-1973), que llegó a presidir en 1952 el Consejo Ejecutivo de la ONU para Agricultura y la Alimentación. Sus planteamientos eran en el fondo muy diferentes de los del Club de Roma, tal vez porque él procedía de un país subdesarrollado (de los entonces etiquetados como del «Tercer Mundo») mientras que el Club de Roma surgía del «Primer mundo». En su libro *Geopolitica da fome* (*Geopolítica del hambre*; 1951), De Castro manifestaba: «el mundo no encontrará el camino de la salvación esforzándose por eliminar los excedentes de población o controlando los nacimientos como prescriben los neomalthusianos, sino trabajando para hacer productivos a todos los hombres que viven sobre la superficie de la Tierra. Si en el mundo existe hambre y miseria no se debe a que haya demasiados hombres, sino a que hay pocos hombres para producir y muchos para comer»; Josué de Castro, *Geopolítica del hambre* (Ediciones Guadarrama, Madrid 1972), vol. 2, p. 324.

58. Francisco García Olmedo, *La Tercera Revolución Verde* (Debate, Madrid 1998), pp. 110-111.

59. Véase los comentarios en *ibid.*, capítulos 12-14.

60. Sobre la «sexta extinción», véase Richard Leakey y Roger Lewin, *La sexta extinción. E futuro de la vida y de la humanidad* (Tusquets, Barcelona 1997; edición original en inglés de 1995) y Elizabeth Kolbert, *La sexta extinción, Una historia nada natural* (Crítica, Barcelona 2015; edición original en inglés de 2014).

61. E. O. Wilson, «Editors foreword», en E. O. Wilson y Frances M. Peter, eds. *Biodiversity* (National Academy Press, Washington D.C. 1988), pp. v-vii; pp. v-vi. Reproducido en Edward O. Wilson, *Nature Revealed. Selected Writings, 1949-2006* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore 2006), pp. 516-518.

62. E. O. Wilson, *Biodiversity*, *op. cit.*, pp. 3-18 y 519-534.

63. Edward O. Wilson, *La diversidad de la vida* (Crítica, Barcelona 1994; edición original en inglés de 1992), pp. 244-245.

64. E. O. Wilson, *La diversidad de la vida*, *op. cit.*, p. 255.

65. Jared Diamond, *Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen* (Debate, Barcelona 2012), pp. 25 y 28.

66. Jared Diamond, *Crisis. Cómo reaccionan los países en los momentos decisivos* (Debate, Barcelona 2019), pp. 411-413.

67. El ultravioleta cubre el rango de longitudes de onda de entre 400 nm y 100 nm (nanómetros). El rango ultravioleta se subdivide en tres bandas: UV-A con longitudes de onda entre 400 nm y 320 nm, UV-B que abarca de 320 nm a 280 nm, y UV-C de 280 nm a 200/100 nm.

68. Paul J. Crutzen, «Influence of nitrogen oxides on atmospheric ozone content», *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 96*, 320-325 (1970).

69. Harold Johnston, «Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysis from supersonic transport exhaust», *Science 173*, 517-522 (1971).

70. Mario J. Molina y F. Sherwood Rowland, «Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone», *Nature 249*, 810-812 (1974). Véase también su artículo más extenso: F. S. Rowland y M. J. Molina, «Chlorofluoromethanes in the environment», *Reviews of Geophysics and Space Physics 13*, 1-35 (1975).

71. Durante un tiempo los trabajos de Rowland y Molina no atrajeron demasiada atención entre los químicos. Según el propio Rowland: «Entre 1974 y 1988, no recibí muchas invitaciones para hablar en departamentos de química. Las obtenía de otros departamentos universitarios: toxicología, geología, física. En parte, esta circunstancia se debía a que existía un fuerte sentimiento en los departamentos de química de que este tipo de trabajo no es química; más bien, solamente una especie de aplicación, porque queda fuera del laboratorio. Otro aspecto es que la química ha tenido una fuerte componente industrial desde la década de 1920, y hasta 1988 nos encontrábamos directamente enfrentados con algunas de las principales compañías químicas, tales como DuPont y Allied»; en István Hargittai, *Candid Science. Conversations with Famous Chemists* (Imperial College Press, Londres 2000), p. 462. Como señalaba en esta cita Rowland, las conclusiones relativas al papel de los CFC encontraron oposición en las industrias afectadas; véase en ese sentido, N. Oreskes y E. M. Conway, *Mercaderes de la duda*, *op. cit.*, cap. 4, y el libro autobiográfico de James Lovelock, que desarrolló importantes técnicas para medir el ozono atmosférico, *Homenaje a Gaia* (Laetoli, Pamplona 2005), cap. 8 («La guerra del ozono»).

72. J. C. Farman, B. G. Gardiner y J. D. Shanklin, «Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_X/NO_X interaction», *Nature 315*, 207-210 (1974). Este ar tículo se reproduce en Laura Garwin y Tim Lincoln, eds., *A Century of Nature. Twenty-One Discoveries that Changed Science and the World* (The University of Chicago Press, Chicago 2003), pp. 290-297; véase, asimismo, los comentarios de Richard S. Stolarski («A hole in the Earth's shield», pp. 283-289) que acompañan al artículo.

73. En un artículo publicado en *Nature* el 19 de agosto de 2021 se señala que sin el Protocolo de Montreal y la subsiguiente reducción de emisión de gases CFC y otras sustancias que destruyen el ozono, no sólo no se habría podido evitar el aumento de la dañina radiación ultravioleta, sino también los efectos colaterales que han mitigado el cambio climático, porque las sustancias que agotan la capa de ozono son potentes gases de efecto invernadero. Utilizando un modelo que tomaba en cuenta al mismo tiempo la reducción de la capa de ozono, el cambio climático, el daño infligido a las plantas por la radiación ultravioleta y el ciclo del carbono, los autores investigaron los beneficios para la bioesfera terrestre y su capacidad de sumidero de carbono el evitar que la radiación ultravioleta aumentara y también los cambios en el clima. «Considerando», escribían, «el rango de consecuencias por el efecto de la radiación ultravioleta en el crecimiento de las plantas, estimamos que podría haber habido 325-690 mil millones de toneladas menos de carbono retenido en plantas y suelos a finales de este siglo (2080-2099) si no hubiese existido el Protocolo de Montreal (en comparación con las proyecciones climáticas sin control de las sustancias que agotan la capa de ozono). Este cambio podría haber dado lugar a 115-235 partes por millón adicionales de dióxido de carbono atmosférico, lo que podría haber provocado un calentamiento adicional de la temperatura media global de la superficie de entre 0,50 y 1,0 grados.» Estimaban que la temperatura global del aire habría aumentado al final del siglo XXI en 2,5 ºC y la capa de ozono habría desaparecido en la década de 2040. Paul J. Young, Anna B. Harper, Chris Huntingford, Nigel D. Paul, Olaf Morgenstern, Paul A. Newman, Luke D. Oman, Sasha Madronich y Ronaldo R. Garcia, «The Montreal Protocol protects the terrestrial carbon sink», *Nature 596*, 384-394 (2019).

74. Véase N. Oreskes y E. M. Conway, *Mercaderes de la duda*, *op. cit.*, cap. 4.

75. Rachel Carson se graduó en Zoología en 1929 por la Johns Hopkins University. Después de obtener un *master* en 1932 pasó a formar parte del Departamento de Zoología de la Universidad de Maryland. Sin embargo, circunstancias familiares la obligaron a renunciar a una carrera académica, pasando a trabajar en el United States Bureau of Fish (Agencia de Estados Unidos para la Pesca), escribiendo en su tiempo libre artículos sobre vida marina. Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, en 1949, se convirtió en la bióloga principal del United States Service Fish and Wildlife Service (Servicio de Estados Unidos para la Pesca y la Vida Natural). En 1941 apareció su primer libro, *Under the Sea-Wind* (*Bajo el viento oceánico*) y en 1951 *The Sea Around Us* (*El mar en torno nuestro*), que se convirtió inmediatamente en un éxito de ventas. El año siguiente abandonó su empleo, convirtiéndose en escritora profesional.

76. Rachel Carson, *Primavera silenciosa* (Crítica, Barcelona 2010), pp. 15-16.

77. Rachel Carson, *Primavera silenciosa*, *op. cit.*, pp. 16-17.

78. Citado en Mark Hamilton Lytle, *The Gentle Subversive. Rachel Carson, Silent Spring, and the Rise f the Environmental Movement* (Oxford University Press, Oxford 2007), p. 174. En *Mercaderes de la duda*, *op. cit.*, cap. 7, Oreskes y Conway también se ocupan de las campañas en contra de Rachel Carson,

79. Citado en Edmund Russell, *War and Nature* (Cambridge University Press, Cambridge 2001), p. 222.

80. Al Gore, «Introduction», en Rachel Carson, *Silent Spring* (Houghton Mifflin, Boston 1994), pp. xv-xxvi; p. xv.

81. En 1988, la Agencia de Protección del Medio Ambiente estadounidense informaba de que las aguas superficiales de 32 estados estaban contaminadas con 74 productos químicos agrícolas diferentes, incluyendo un herbicida —la atrazina— que está clasificado como cancerígeno potencial.

82. Al Gore, «Introduction», *ibid.*, p. xix.

83. John Emsley, *Moléculas de una exposición* (Península, Barcelona 2000), pp. 229-230.

84. *World Population and Resources*, P. E. P., ed. (Londres 1956), p. 12.

85. Citado en E. Russell, *War and Nature*, *op. cit.*, p. 225. A continuación me baso en datos incluidos en esta obra.

86. «One man's meat», *New Republic*, pp. 5-6 (23 de marzo de 1963), p. 5; carta de Bertrand Russell al editor, *Nation* (6 de Julio de 1963); Anthony Harrigan, «The case for gas warfare», *National Review*, p. 283 (9 de abril de 1963). Citado en E. Russell, *War and Nature*, *op. cit.*, pp. 226-227.

87. *Tribunal Russell 2. Le jugemeny final*, Jean-Paul Sartre director de publicación, Arlette el Kaim redactora (Gallimard 1968), pp. 49-51.

1. Chang’e es el nombre de la diosa china de la Luna.

2. El primer vehículo espacial que impactó contra la superficie lunar, en septiembre de 1959, fue soviético, el *Luna 2* (Estados Unidos no lo consiguió hasta julio de 1964), lo mismo que fue soviético el primer alunizaje —esto es, un choque no violento—, logrado por el *Luna 9* en enero de 1966. Tres años más tarde, el 20 de julio de 1969, Neil Armstrong y Edwin Aldrin, alunizaron en nuestro satélite. En septiembre del año siguiente, la sonda soviética no tripulada *Luna 16* alunizó y regresó a la Tierra con 101 gramos de basalto lunar. El último viaje americano a la Luna fue en 1972 y para entonces se habían extraído algo más de 382 kilogramos de materiales (los soviéticos perseveraron más: su último viaje lo realizó el *Luna 24* en agosto de 1976: excavó hasta una profundidad de 2 metros y regresó a la Tierra con 170 gramos de materiales lunares).

El poder de la ciencia. Historia social, política y económica de la ciencia (siglos XIX-XXI)
José Manuel Sánchez Ron

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

© José Manuel Sánchez Ron, 2007, 2022

© del diseño de la cubierta, Planeta Arte & Diseño
© de la ilustración de la cubierta, © Sr. García

© Editorial Planeta, S. A., 2022
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.
www.ed-critica.es
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): marzo 2022

ISBN: 978-84-9199-405-3 (epub)

Conversión a libro electrónico: Newcomlab, S. L. L.
www.newcomlab.com

¡Encuentra aquí tu próxima lectura!

¡Síguenos en redes sociales!